

**APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA EN LÍNEAS DE CONDUCCIÓN O REDES  
DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EMPLEANDO BOMBAS USADAS COMO  
TURBINAS (BUTUS)**

**ANGIE NATALIA ANZOLA GOMEZ  
KEBIN JOSE COLÓN ZÚÑIGA**



**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
BARRANQUILLA  
2018**

**APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA EN LÍNEAS DE CONDUCCIÓN O REDES  
DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EMPLEANDO BOMBAS USADAS COMO  
TURBINAS (BUTUS)**

**ANGIE NATALIA ANZOLA GOMEZ  
KEBIN JOSE COLÓN ZÚÑIGA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**ASESORES:**

**Ing. ARMANDO FONTALVO LASCANO, MSc.**

**Ing. GABRIEL TORRES DIAZ, MSc.**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
BARRANQUILLA**

**2018**

### Resumen

En lugares donde la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas es limitada por su alto costo de inversión y mantenimiento (como es el caso de las áreas rurales), generar energía a bajo costo se ha convertido en una necesidad económica y social. El desarrollo de nuevas tecnologías que faciliten la producción energética cada vez obtiene mayor interés, las bombas usadas como turbinas son un sistema que ofrece ser una alternativa rentable para aprovechar energía presente en un fluido y aunque los fabricantes de bombas no suministran información acerca del funcionamiento de estas de forma inversa, en el desarrollo de esta tesis se muestra teóricamente como seleccionar el tipo de bomba y como diseñar el impulsor adecuado para lograr un correcto funcionamiento; en este proyecto se estudiará la línea de conducción de agua potable comprendida entre el tanque el Radar y el municipio de Usiacurí - Atlántico, aprovechando las propiedades hidráulicas y topográficas de esta, se buscará estimar la potencia que se puede aprovechar si se reemplaza una válvula reguladora de presión por una bomba usada como turbina.

***Palabras Clave:*** bombas usadas como turbinas, turbinas, válvulas reguladoras de presión, impulsor.

### **Abstract**

In places where the construction of small hydroelectric power plants is limited by its high investment and maintenance cost (as is the case in rural areas), generating energy at low cost has become an economic and social need. The development of new technologies that facilitate energy production is gaining more interest, pumps used as turbines are a system that offers to be a cost-effective alternative to take advantage of present energy in a fluid and although pump manufacturers do not provide information about the operation of these in an inverse way, in the development of this thesis it is shown theoretically how to select the type of pump and how to design the suitable impeller to achieve a correct operation; This project will study the drinking water line included between the Radar tank and the municipality of Usiacurí - Atlántico, taking advantage of the hydraulic and topographic properties of this, it will be sought to estimate the power that can be exploited if a regulating valve is replaced of pressure by a pump used as a turbine.

***Keywords:*** *pumps used as turbines, turbines, pressure regulating valves, impeller.*

En agradecimiento a Dios, a nuestros padres,  
quienes nos dieron su apoyo incondicional para culminar esta meta  
y nunca nos abandonaron para cumplir nuestros sueños.  
A los que nos apoyaron para escribir y concluir  
esta tesis por su apoyo incondicional.

## Contenido

Introducción	11
1. Planteamiento del problema	13
1.1. Descripción del problema	13
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo general:	16
1.3.2. Objetivos específicos:	16
1.4. Justificación	17
1.5. Delimitaciones	19
1.5.1. Delimitación temporal	19
1.5.2. Delimitación espacial	19
1.6. Estado del arte	20
2. Marco referencial	24
2.1. Marco conceptual	24
2.1.1. Tuberías.	24
2.1.1.1. Policloruro de vinilo (PVC).	24
2.1.1.2. Plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP).	25
2.1.1.3. Polietileno de alta densidad (PEAD).	27
2.1.2. Turbinas Hidráulicas.	28
2.1.2.1. Las turbinas de acción o chorro.	29

2.1.2.2.	Turbinas de reacción.	29
2.1.2.3.	Turbinas Kaplan y Bulbo	30
2.1.3.	Bombas Centrifugas.	31
2.1.3.1.	Impulsores de bombas centrifugas.	33
2.1.4.	Válvula reductora de presión.	35
2.2.	Marco teórico	36
2.2.1.	Pérdidas en Tuberías	36
2.2.2.	Altura de elevación.	38
2.2.3.	Potencia máxima generada en la línea de conducción	39
2.2.4.	Bombas usadas como Turbinas (BUTUS)	40
2.2.4.1.	Ventajas Bombas usadas como turbinas:	41
2.2.4.2.	Desventajas Bombas usadas como turbinas:	42
2.2.5.	Teoría diseño del impulsor.	42
2.2.5.1.	Eficiencias en bombas centrífugas usadas como turbinas.	43
2.2.5.2.	Velocidad específica en bombas usadas como turbinas.	45
2.3.	Diseño del impulsor bomba usada como turbina	46
2.3.1.	Etapas diseño del impulsor de la bomba usada como turbina.	46
2.3.2.	Potencia generada por bomba utilizada como turbina.	51
2.3.2.1.	Ecuaciones para cálculo de potencia de turbina.	51
2.4.	Marco geográfico	55

APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA EN REDES DE CONDUCCIÓN	8
2.5. Marco legal	56
3. Marco metodológico	58
3.1. Diseño metodológico	58
3.1.1. Etapa 1.	58
3.1.2. Etapa 2.	58
3.1.3. Etapa 3.	59
4. Resultados	60
4.1. Descripción de la empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios	60
4.2. Cálculo de parámetros hidráulicos de la línea de conducción El Radar-Usiacurí	65
4.3. Cálculo dimensiones del impulsor de la bomba	66
4.4. Resultados potencia generada	71
4.5. Evaluación financiera	72
4.5.1. Inversión del proyecto.	72
4.5.2. Parámetros de evaluación financiera	73
5. Conclusiones	78
6. Recomendaciones	80
Referencias	81
Anexos	86



## Lista de tablas y figuras

### Tablas

Tabla 1. Coeficiente de Hazen – Williams Ch.....	38
Tabla 2. Selección de bomba centrífuga. ....	45
Tabla 3. Porcentaje de edad de las tuberías de distribución.....	61
Tabla 4. Condiciones de servicio línea de conducción Tubará - Usiacurí.....	65
Tabla 5. Parámetros hidráulicos de la línea de conducción El radar – Usiacurí.....	66
Tabla 6. Resultado de cálculos necesarios para el diseño del impulsor.....	66
Tabla 7. Resultado de potencia (kW) y energía generada (kWh/día) por medio de la BUTUs.....	71
Tabla 8. Costo de los componentes adquisición de sistema de bombeo y accesorios para la instalación .....	72
Tabla 9. Estados de resultados para el proyecto BUTUS .....	74
Tabla 10. Flujos de cajas implementación del proyecto BUTUS .....	75

### Figuras

Figura 1. Vista satelital de la ubicación de los municipios de Tubará y Usiacurí del departamento del atlántico .....	20
Figura 2. Tuberías de Policloruro de vinilo (PVC) .....	25
Figura 3. Tuberías de plásticos reforzadas con fibras de vidrio (GRP) de grandes diámetros .....	27
Figura 4. Tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) .....	28
Figura 5. Turbina tipo Pelton .....	29
Figura 6. Diferencia entre turbinas de acción y reacción.....	30
Figura 7. Rotor de una turbina tipo Kaplan.....	31
Figura 8. Bomba caracol .....	32

Figura 9. Bomba vertical de turbina.....	33
Figura 10. Impulsor cerrado .....	34
Figura 11. Impulsor abierto.....	35
Figura 12. Impulsor semiabierto .....	35
Figura 13. Válvula reguladora de presión .....	36
Figura 14 Principales parámetros geométricos en una bomba.....	55
Figura 15 Sistema de distribución acueducto costero .....	63
Figura 16 Parte interna del impulsor.....	68
Figura 17 Tapas del impulsor.....	68
Figura 18 Impulsor ensamblado.....	69
Figura 19 Potencia obtenida BUTUS en la Línea de conducción Tanque Radar- Usiacurí ....	70

## Introducción

La empresa prestadora de servicio Triple A S.A E.S.P, cuenta con un sistema distribución de bombeo (mecánica) y de gravedad (potencial) para llevar el servicio de agua potable a las distintas zonas de Barranquilla y el Departamento del Atlántico. Este sistema cuenta con válvulas reguladoras de presión (VRP) para ajustar niveles de presión y asegurar el suministro seguro de agua potable. Sin embargo, los puntos en los que se instalan las VRP generan inevitables pérdidas de energía a causa de la reducción de la presión. Se estima que el uso de una turbina podría asegurar la caída de presión necesaria y generar energía para otros usos al interior de la empresa. La implementación de bombas usadas como turbinas (BUTUS) en los procesos de generación de energía a pequeña escala son alternativas viables para ajustar niveles de presión y producción de energía eléctrica en redes de distribución de agua. Todo esto con un costo inferior al de la instalación de una turbina diseñada especialmente para este tipo de aplicaciones.

En este contexto el presente proyecto de grado analizó la línea de conducción de la salida del tanque EL RADAR, ubicado en el municipio de Tubará – Atlántico, para determinar el potencial energético recuperable mediante el remplazo de una válvula reguladora de presión por una bomba utilizada como turbina. Para ello empleó un enfoque metodológico basado en simulación para: Analizar las pérdidas que se presentan en la tubería de conducción; Seleccionar el tipo de bomba que se puede utilizar como turbina para la generación de energía y determinar las dimensiones de su impulsor; Calcular la potencia en la línea de conducción en función de las caídas de presión originadas por la válvula reguladora de presión, utilizando una bomba como turbina; Calcular la rentabilidad de la implementación de BUTUS y determinar las ventajas y

desventajas de la implementación de BUTUS para la generación de energía en lugar de turbinas.

Los resultados del estudio arrojan que mediante el uso de una bomba utilizada como turbina se puede generar en promedio 240 kWh/día y hasta 64320 kWh/año. Esta energía puede utilizarse para abastecer otros procesos productivos de Triple A en la zona, en cuyo caso implicaría un ahorro entre 10 y 20 millones de pesos por año. Sin embargo, se hace necesario futuros trabajos de investigación para detallar el ahorro y tener en cuenta el costo de la instalación eléctrica desde la BUTU hasta los puntos de implementación.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1. Descripción del problema**

La generación de energía en todo el mundo se puede clasificar teniendo en cuenta su fuente primaria, esta puede ser química, termoeléctrica, hidroeléctrica, eólica y solar. En la actualidad, se están reevaluando algunas de estas fuentes debido a su poca disponibilidad de recursos, a la protección del medio ambiente y a la reducción de costos. El sector eléctrico en Colombia está dado principalmente por el recurso hídrico 80.31% aproximadamente (XM, 2017), implementando costosas y enormes turbinas hidráulicas que convierten la energía potencial de un cuerpo de agua en energía eléctrica, de ahí que, se ha ido aumentando la participación de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) con el apoyo del estado, sin embargo, debido a que las turbinas no son una alternativa a considerar en sitios donde el acceso es limitado y existe baja disponibilidad de recursos monetarios, ha nacido la necesidad de buscar otro tipo de tecnología que permita alcanzar los resultados obtenidos con las turbinas a un menor costo.

La implementación de bombas usadas como turbinas (BUTUS) en los procesos de generación de energía a pequeña escala son cada vez más utilizadas, estos equipos se pueden instalar en líneas de conducción y redes de distribución de agua para tener ajustes de niveles de presión y producción de energía eléctrica con un costo inferior al que se incurriría con la instalación de una turbina convencional.

Desde 1930 varios investigadores han realizado estudios que demuestran que la implementación de BUTUS es una buena alternativa para la generación de energía. (Agarwal, 2012), (Williams, 1996), (De Marchis, y otros, 2014), resaltan los beneficios

de las BUTUS frente a las micro turbinas, haciendo hincapié en la amplia gama de equipos, bajo costo, mayor rango de uso de cabezales y tasas de flujo, además, pueden ser usadas en modo de bomba y modo turbina dependiendo de los requisitos del proceso; por otro lado, las BUTUS pueden instalarse en lugar de válvulas reguladoras de caudal y presión que tienen el objetivo de controlar la sobrepresión en las líneas de conducción y redes de distribución de agua para así.

Para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Barranquilla y los municipios del Atlántico, la empresa prestadora del servicio público cuenta con un sistema distribución de bombeo (mecánica) y de gravedad (potencial) para llevar el servicio de agua potable a las distintas zonas, usando además válvulas reguladoras de presión con el fin de asegurar el buen funcionamiento y continuidad del servicio de agua potable, en los puntos en los que se instalan dichas válvulas, se está generando una pérdida de presión significativa que con el dispositivo adecuado podría ser aprovechada para la generación de energía además de regular el caudal y la presión en las tuberías.

Con lo anteriormente dicho y para fines de este proyecto de grado se realizará un análisis en la línea de conducción comprendida entre la salida del tanque EL RADAR, ubicado en el municipio de Tubará – Atlántico y el municipio de Usiacurí Atlántico, donde el fluido es trasegado por gravedad gracias a la topografía presente para abastecer así el servicio de agua potable en el municipio de entrega, teniendo en cuenta que las condiciones de servicio en esta línea de conducción permitirá el aprovechamiento de pérdidas para la generación de energía.

Una vez se conozcan las propiedades hidráulicas presentes en la línea de conducción, se procede a seleccionar la bomba que se ajuste a las necesidades del proyecto y se diseña el impulsor para optimizar el funcionamiento de esta usando la metodología de (Huang, Qiu, Su, Chen, & Zou, 2017)

## **1.2. Formulación del problema**

*¿Cuánto es el potencial energético que se puede aprovechar en la red de conducción de agua potable, salida del tanque el Radar al municipio de Usiacurí departamento del Atlántico, utilizando bombas como turbinas?*

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general:**

Determinar el potencial energético recuperable en la línea de conducción que inicia en la salida del tanque El Radar ubicado en el municipio de Tubará y finaliza en el municipio de Usiacurí – Atlántico, mediante el remplazo de una válvula reguladora de presión por una bomba utilizada como turbina.

#### **1.3.2. Objetivos específicos:**

- Realizar un análisis de las pérdidas de energía que se presentan en la tubería de conducción El Radar – Usiacurí.
- Seleccionar el tipo de bomba que se puede utilizar como turbina para la generación de energía.
- Determinar las dimensiones de un impulsor de la bomba empleada como turbina.
- Estimar la potencia en la línea de conducción El Radar – Usiacurí en función de las caídas de presión originadas por la válvula reguladora de presión y su relación con la que generaría sustituyéndola por una bomba funcionando como turbina.
- Calcular la rentabilidad de la implementación de una bomba utilizada como turbina.
  - Determinar las ventajas y desventajas de la implementación de bombas usadas como turbinas para la generación de energía en lugar de turbinas.



#### 1.4. Justificación

Las líneas de conducción y redes de distribución de agua potable operadas por la empresa prestadora de servicios públicos de Barranquilla, poseen dispositivos reguladores de presión y caudal donde se deprecia la energía hidráulica del agua originada en estas redes, dado que dicha energía se disipa en los equipos y accesorios instalados en las tuberías (transformándola en fricción y ruido) y no se aprovecha la infraestructura y condiciones existente tales como: tanques de almacenamiento, tuberías de conducción, redes de distribución, topografía y presiones del sistema, entre otros, para el desarrollo de proyectos de generación de energía limpia y mecanismos de desarrollo limpio (MDL), lo que contribuye a la disminución de gases efecto invernadero (GEI), surge la iniciativa de buscar una tecnología que emplee las características aquí mencionadas para contribuir a la utilización de fuentes no convencionales de energía renovable.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) surge del protocolo de Kyoto como un instrumento innovador basado en el mercado de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), a través de la implementación de Proyectos y Programas de Actividades (Programme of Activities -PoAs- por sus siglas en Ingles) en los diferentes sectores productivos como el industrial, energético, forestal, de residuos y de transporte en el ámbito nacional, que generen emisiones de GEI.

Este mecanismo permite a los países industrializados (que se han comprometido a reducir su emisión de gases efecto invernadero) a implementar proyectos que reduzcan las emisiones de gases en los territorios de los países en vías de desarrollo. Las

reducciones Certificadas de las Emisiones (Certified Emission Reductions – CERs por sus siglas en Inglés) generadas por tales proyectos pueden ser utilizadas por los países industrializados para cumplir con su cuota de reducción de emisiones. Los países en vía de desarrollo, que implementan estos proyectos obtienen un beneficio económico, social y ambiental en la contribución al desarrollo sostenible del país.

En Colombia, se aprobó el protocolo de Kyoto por el Congreso de la República de mediante la Ley 629 de 2000. El entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible fue elegido como Autoridad Nacional Designada (Designed National Authority – DNA por sus siglas en Inglés) para el MDL, mediante la nota consular del 22 de mayo de 2002, radicada DM/VAM/CAA 19335 del Ministerio de Relaciones Exteriores, dirigida a la Secretaria de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2018)

Por lo anterior se pretende realizar un estudio para aprovechar la energía hidráulica del agua en la línea de conducción que inicia en la salida del Tanque el Radar ubicado en el municipio de Tubará y finaliza en el municipio Usiacurí – Atlántico, teniendo en cuenta que sobre esta tubería se encuentran instaladas tres válvulas reguladoras de presión y que la diferencia de altura entre la cota fondo del tanque el Radar y la cota del punto más alto del municipio Usiacurí es de aproximadamente 200 msnm, se decide analizar la posibilidad de implementar un dispositivo que supla la función de una válvula reguladora y que a su vez permita generar energía limpia aprovechando la sobrepresión de la red sin afectar la calidad del servicio, para así abastecer el sistema control de lectura remota de datos (telemetría), alimentación al medidor electromagnético, entre otros.

En este proyecto de grado se propone las bombas usadas como turbinas (BUTUS) para la generación de energía, producto de las condiciones actuales de servicio en la línea de conducción El Radar – Usiacurí, basándose en los estudios realizados por otros autores que demuestran las ventajas de las BUTUS frente a otros dispositivos que cumplen las mismas funciones. Además, esta investigación tiene doble impacto en términos de beneficio ambiental, ya que aprovechando la carga hidráulica disponible en diferentes puntos de la red de acueducto, se puede generar energía, haciendo un uso eficiente del recurso natural del agua y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

## **1.5. Delimitaciones**

### **1.5.1. Delimitación temporal**

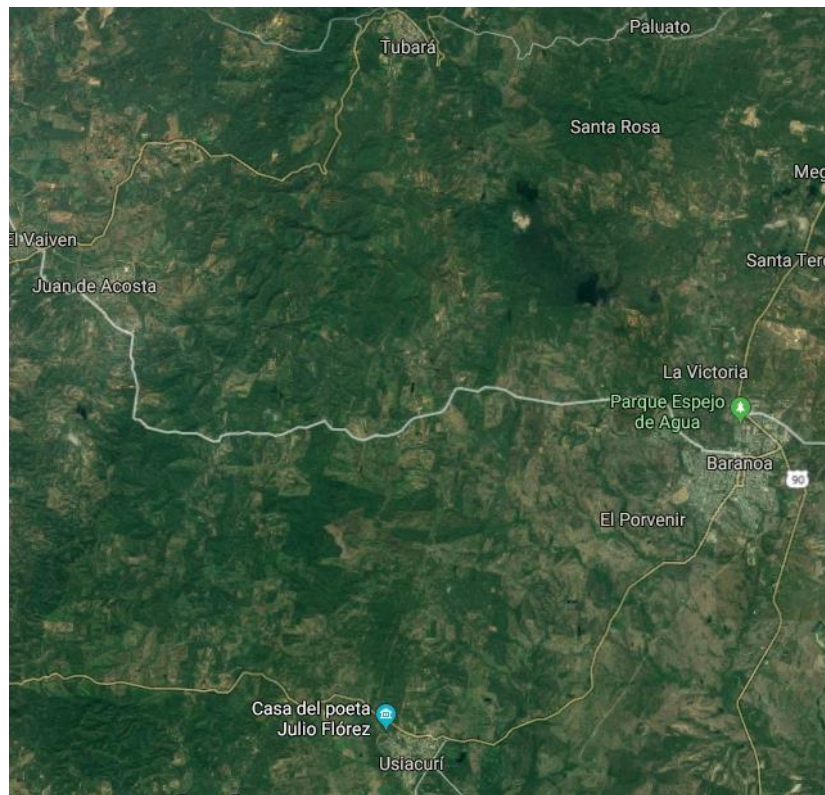
La investigación comprenderá los años 2017 al 2018.

### **1.5.2. Delimitación espacial**

El proyecto de investigación se desarrolló en el departamento del Atlántico, específicamente en una línea de conducción de agua potable que va desde el municipio de Tubará hasta el municipio de Usiacurí – Atlántico.

Tubará, Atlántico está ubicado a 27 Kilómetros de la ciudad de Barranquilla y 280 m sobre el nivel del mar, su extensión de área total es de 176 Km<sup>2</sup> de los cuales 62 Km<sup>2</sup> corresponden al área rural, limita al norte con el municipio Puerto Colombia, por el este con la ciudad de Barranquilla, por el occidente con el municipio de Juan de Acosta y por el sur con Baranoa (Alcaldía municipal de Tubará - Atlántico , 2018),

El municipio de Usiacurí, Atlántico se encuentra ubicado a 38 Kilómetros de la ciudad de Barranquilla (vía cordialidad) y a 95 m sobre el nivel del mar, su extensión de área urbana corresponde a casi toda el área del municipio, con 102.7 Km<sup>2</sup> de 103 Km<sup>2</sup> que conforman el área total. Limita al norte con el municipio de Juan de Acosta y Baranoa, por el este con el municipio de Baranoa y Sabanalarga y por el oeste con Piojó (Alcaldía municipal de Usiacurí - Atlántico , 2018).



**Figura 1.** Vista satelital de la ubicación de los municipios de Tubará y Usiacurí del departamento del atlántico, adaptado de <https://www.google.com.co/maps/>

## 1.6. Estado del arte

El uso de las bombas como turbinas es una buena alternativa económica para generar electricidad en las líneas de conducción de agua potable. Al año 1931 se remontan las

primeras investigaciones (Kittredge & Thoma, 1931) fueron los primeros en realizar experimentos a las bombas con la publicación de su artículo "Bombas centrífugas operadas bajo condiciones anormales". Este artículo describe experimentos llevados a cabo con una bomba pequeña con el fin de obtener características de rendimiento y comportamiento de la esta durante los cambios repentinos de funcionamiento. En estos experimentos, la bomba fue operada bajo condiciones de carga negativa, entrega y velocidad, además del rango normal de rendimiento. (KNAPP, 1937), esta investigación fue retomada por (Thode HW, 1984) para delinear el uso de bombas estándar que se instalan inversamente para la generación de energía eléctrica, este artículo establece las ventajas de las BUTUS y comenta que las bombas centrífugas radiales, mixtas y axiales pueden ser operadas con éxito en forma inversas cuando una revisión de diseño de las características de la bomba se realiza para garantizar el funcionamiento correcto en condiciones de operación de la turbina. (Arriaga M. , 2010).

Así mismo (Agarwal, 2012), (Williams, 1996) y (De Marchis, y otros, 2014), resaltan los beneficios de las BUTUS frente a las micro turbinas, haciendo hincapié en la amplia gama de equipos, bajo costo, mayor rango de uso de cabezales y tasas de flujo, además, pueden ser usadas en modo de bomba y modo turbina dependiendo de los requisitos del proceso; por otro lado, las BUTUS pueden instalarse en lugar de válvulas reguladoras de caudal y presión que tienen el objetivo de controlar la sobrepresión en las líneas de conducción y redes de distribución de agua y, al mismo tiempo, producir electricidad.

Por otra parte (Williams, 1994), (Stepanoff, 1997), (Krivchenko, 1994), (Sharma, 1985) y (McClaskey B, 1976) elaboraron diferentes modelos matemáticos para evaluar el mejor punto de eficiencia de una BUTUS utilizado para la generación de energía

hidroeléctrica en pequeña escala mediante resultados experimentales realizados con pruebas de laboratorio y evaluaciones estadísticas.

Según (Derakhshan & Nourbakhsh, 2008), la selección de la bomba para su uso en modo turbina se ha convertido en una tarea difícil ya que los fabricantes de bombas normalmente no proporcionan curvas características de sus bombas que funcionan como turbinas. Esto dificulta la selección de una bomba apropiada para funcionar como una turbina en una condición de operación específica. Mientras que este retroceso se mantiene para el uso de las BUTUS, se han propuesto diferentes métodos para elegir una bomba que pueda ser usada en un sistema BUTUS basándose en las características requeridas del modo de turbina. (Tsegaye, 2015)

Todos los métodos descritos anteriormente tienen mucha incertidumbre. Esto se debe al hecho de que las bombas con un rendimiento similar se pueden diseñar con diferentes parámetros geométricos, y esto afecta el rendimiento del modo de turbina, (Nygren, 2016) estudió la idoneidad de las bombas centrífugas usadas como turbinas, a través de modelos polinomiales para el caudal y la potencia de la turbina que se pueden usar, por ejemplo, seguimiento del punto de máxima potencia, entre otros. La mayoría de las bombas funcionan como turbinas con una eficiencia comparable a la del modo de bomba. En algunos casos, la eficiencia del modo de turbina es incluso mayor que la eficiencia del modo de bomba.

Muchos investigadores han informado que la eficiencia de la bomba en modo turbina puede mejorarse mediante una simple modificación como el redondeo de las puntas del impulsor, instalación del separador de cuchillas y reducir el tamaño del impulsor. Otras

modificaciones de bomba como recortar el diámetro del impulsor puede alterar la característica de la bomba para que coincida con la condición de operación. En algunos casos, la modificación menor del impulsor de la bomba contribuye a una gran mejora hidráulica que conduce a un aumento de la eficiencia. (Azlan Ismail, Othman, Islam, & Zen, 2014).

La generación de electricidad con convertidor de frecuencia requiere el uso de un convertidor de frecuencia de cuatro cuadrantes, a menos que se puedan usar circuitos de corriente continua comunes. Estos circuitos podrían usarse entre múltiples convertidores de frecuencia, de modo que los convertidores de motor usen la electricidad producida por las unidades generadoras. (Hyypiä, 2016)

## **2. Marco referencial**

### **2.1. Marco conceptual**

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon los siguientes conceptos:

#### **2.1.1. Tuberías.**

Es un conducto cerrado, en el cual el líquido se encuentra confinado y el fluido ejerce una presión sobre el contorno de la misma. La forma más común de las tuberías es la circular, sin embargo también hay de sección cuadrada, rectangular, entre otras. Las tuberías que principalmente son empleadas para la conducción de agua potable son las de policloruro de vinilo (PVC), plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP) y polietileno de alta densidad (PEAD) (Rocha Felices, 2007).

##### ***2.1.1.1. Policloruro de vinilo (PVC).***

Es un material que se obtiene a partir de la sal y el petróleo, contiene un 57% de cloruro y un 43% de etileno, proveniente del petróleo, lo que lo convierte en uno de los materiales plásticos que menos dependen del petróleo (Promateriales). Gracias a que la superficie interior es lisa, se reducen considerablemente las pérdidas de presión por fricción, su sistema de instalación consiste en conexiones soldadas por medio de una soldadura líquida la cual desarrolla máxima resistencia en un tiempo mínimo, facilitando su implementación, posee alta resistencia a la corrosión interna (ácidos, álcalis, sales y compuestos orgánicos) y externa (gases industriales, humedad, agua salada y condiciones del subsuelo), además es químicamente inerte eliminando así la posibilidad de



contaminación o modificación de las propiedades de los líquidos transportados (PAVCO, 2014)

Teniendo en cuenta sus características algunas de las aplicaciones de la tubería PVC son, conducciones de agua potable y no potable, con o sin presión, evacuación de aguas pluviales, drenaje de obra civil, tuberías de aireación y ventilación, conducciones industriales de fluidos ácidos y alcalinos, entre otros.

Los diámetros disponibles en el mercado para PVC instalaciones potables son desde 21 mm ( $\frac{1}{2}$ " ) hasta 114 mm (4"), instalaciones sanitarias desde 48 mm (1  $\frac{1}{2}$ " ) hasta 168 mm (6").



**Figura 2.** Tuberías de Policloruro de vinilo (PVC), adaptado de <http://www.agrohidraulica.com/>

#### ***2.1.1.2. Plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP).***

Es un material compuesto por una resina reforzada con fibra de vidrio, de amplias características (ligero, resistente, rígido, resistente a la corrosión y al desgaste, buen

aislante térmico, acústico y eléctrico). Sus propiedades varían principalmente por su proceso de elaboración, dependiendo de la cantidad de fibra y resina empleadas.

Las materias primas que intervienen en el proceso de fabricación tienen características especiales en el caso de las resinas, su curado es a temperatura ambiente y son químicamente inertes, por otro lado, los refuerzos de fibra de vidrio desarrollan propiedades de inercia frente a la corrosión química y brindan una resistencia mecánica muy alta y buena rigidez (PAVCO, 2015).

Gracias a su gran variedad de propiedades físicas, las tuberías GRP pueden emplearse en múltiples ocupaciones, como por ejemplo, procesos químicos, plantas de desalinización, pozos y cámaras de inspección, campos petroleros, agua de mar y emisarios submarinos, proyectos hidroeléctricos, agua potable, entre otros; esto debido a que tienen larga vida útil, no requieren revestimiento ni protección catódica, por la baja rugosidad de su pared interna (coeficiente de Manning  $n = 0.009$ ), tiene menores pérdidas por fricción, menor energía de bombeo, menor acumulación de sedimentos y por su bajo peso es de fácil y rápida instalación.

Los diámetros disponibles en el mercado para tuberías GRP oscilan entre los 300 mm (12") hasta los 3000 mm (118"), presiones desde 1 Bar hasta 25 Bar, longitud hasta de 12 m y una velocidad máxima recomendada de 4m/s (PAVCO, 2015)



**Figura 3.** Tuberías de plásticos reforzadas con fibras de vidrio (GRP) de grandes diámetros, adaptado de <http://www.pavco.com.pe>

### 2.1.1.3. Polietileno de alta densidad (PEAD).

Es un material termoplástico parcialmente amorfo y cristalino que presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) y mejor resistencia química y térmica que el polietileno de baja densidad. Se obtiene por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas utilizando catalizadores Ziegler-Natta o Proceso Phillips, aunque existe un tercero utilizado; los catalizadores Metallocenos, utilizados únicamente para obtener Polietileno de ultra alta masa molecular (PEADUAPM o sus siglas en ingles UHMWPE). Su densidad está comprendida entre  $0.941 - 0.954 \text{ gr/cm}^3$ , es incoloro, inodoro, no tóxico y resistente tanto a esfuerzos como a agentes químicos (Girón, 2005).

Es el principal sustituto del acero para procesos de conducción de la industria, siendo mucho más ligero que este y soportando temperaturas hasta de  $80^{\circ}\text{C}$ , entre sus propiedades encontramos que es compatible con otros sistemas de tuberías por su gran variedad de conexiones, tiene gran resistencia a químicos abrasivos, soporta altas

presiones, y su sistema de unión por termofusión lo hace ideal para usos en líneas a propulsión, plantas de tratamiento, procesadoras de alimentos, minas, conducción de gas e industria en general.

La tubería de polietileno se produce en tramos rectos de hasta 15 m de largo y diámetros de hasta 48", las longitudes de fabricación mayores a esta dependen del diámetro a proporcionar. La industria de polietileno estima una vida útil de 50 a 100 años (Moreno, 2017).



**Figura 4.** Tubería de polietileno de alta densidad (PEAD), adaptado de <http://www.tuberiamoreno.com>

### 2.1.2. Turbinas Hidráulicas.

Una turbina es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en mecánica gracias al flujo de líquido que la atraviesa; Las turbinas hidráulicas están previstas de rodets y estos a su vez de álabes, los cuales dejan espacios libres para que el agua fluya entre ellos.

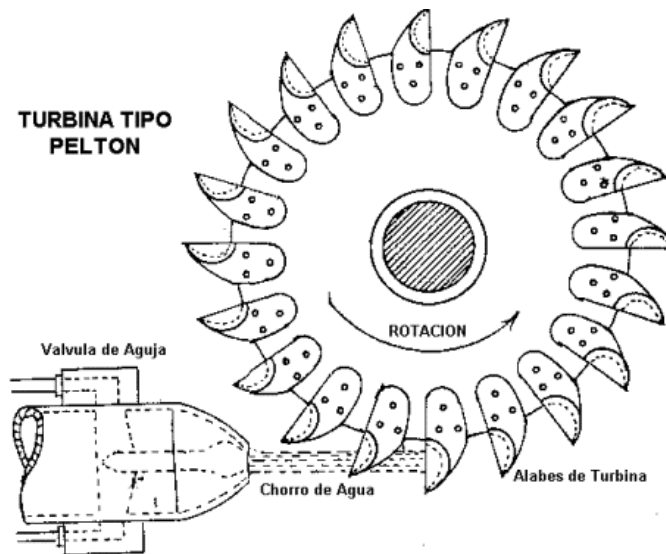
Las turbinas hidráulicas se pueden clasificar de varias formas, pero la forma más común es la clasificación por la forma de obrar del agua en el proceso, estas son acción y reacción.

### 2.1.2.1. Las turbinas de acción o chorro.

Fueron las primeras turbinas que se usaron, iniciaron con algo parecido a lo que hoy se conoce como rueda Pelton, trabajan a altas presiones, tienen álabes fijos y se regula su rotación por medio del flujo de agua que es controlado por una válvula de aguja.

Las turbinas tipo Pelton pueden tener varias entradas de agua para lograr una rotación a mayor velocidad, se utilizan en saltos de agua con mucho desnivel y caudales pequeños, la altura de utilización oscila entre 60 y 1500 metros de altura.

Las turbinas de acción se diferencian fácilmente porque el movimiento de la turbina se produce en la misma dirección en la que se mueve el agua. (Fernández Díez, 2000)



**Figura 5.** Turbina tipo Pelton, adaptado de (Fernández Díez, 2000)

### 2.1.2.2. Turbinas de reacción.

Se diferencian de las de acción porque el movimiento de la turbina se produce en sentido inverso al movimiento del agua que sale del distribuidor y atraviesa los álabes, a

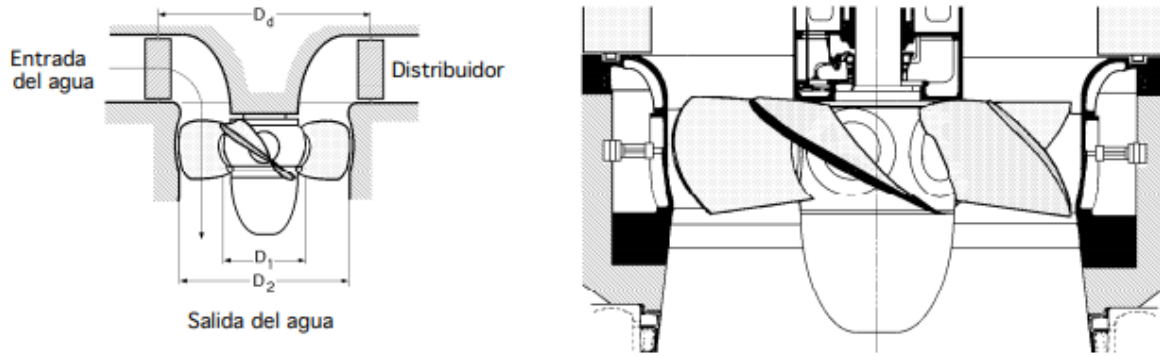
medida que el agua atraviesa álabes va perdiendo presión, por lo que a la salida el agua puede tener presión nula o negativa; Las turbinas de esta categoría se agrupan según la dirección de entrada del agua en axiales (Kaplan, hélice, bulbo , en esta subcategoría el agua entra paralelamente al eje) , radiales(el agua entra perpendicular al eje y puede ser centrípeta o centrífuga), mixtas(tiene combinación de las dos anteriores) y tangenciales(el agua entra de forma lateral contra las palas o cucharas de la rueda). (Fernández Díez, 2000).



**Figura 6.** Diferencia entre turbinas de acción y reacción, adaptado de (Fernández Díez, 2000)

### **2.1.2.3. Turbinas Kaplan y Bulbo**

La importancia de las turbinas Hélice y Kaplan en pequeños saltos con grandes caudales, las hacen idóneas tanto en posición horizontal como vertical; por su similitud con las turbinas Bulbo, empleadas en minicentrales hidráulicas, las turbinas funcionan en los dos sentidos de rotación (turbinas reversibles), y asimismo pueden actuar como bombas hélice accionadas por el propio generador, se las denomina turbinas Bulbo. En las turbinas tipo Kaplan el número de las palas de rodete está determinado por la altura del salto del agua y el tamaño del rodete (Fernández Díez, 2000).



**Figura 7.** Rotor de una turbina tipo Kaplan, adaptado de (Fernández Díez, 2000)

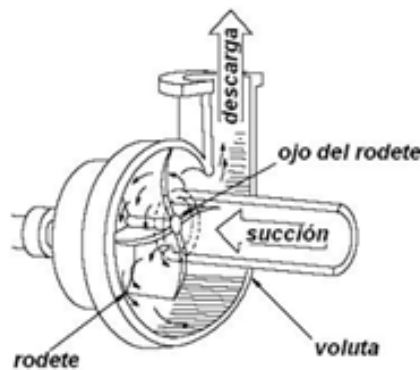
El flujo a nivel de distribuidor, en una turbina Kaplan, se presenta radial, mientras que pasa a ser axial al alcanzar el rodete. En la Bulbo el flujo es siempre axial. La zona de acción del rodete que permite pivotar a los álabes se encuentra comprendida, para las turbinas hélice, entre dos superficies cilíndricas coaxiales, y para las Kaplan, entre dos superficies esféricas concéntricas. (Fernández Díez, 2000)

### 2.1.3. Bombas Centrífugas.

Una bomba centrífuga es un equipo que consiste de un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una cubierta o coraza. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza centrífuga. Las bombas centrífugas tienen dos partes principales, un elemento giratorio, incluyendo un impulsor y una flecha y un elemento estacionario, compuesto por una cubierta, estopero (cavidad concéntrica con la flecha donde van colocados los empaques) (Viejo Zubicaray, 2000) y chumaceras. El desarrollo del motor eléctrico permitió el uso de la bomba centrífuga más ligera y barata conectada directamente y aunque las primeras bombas se consideraban ineficientes, su costo inicial más bajo compensaba con creces esta deficiencia, a su vez, la bomba demostró otras ventajas como brindar un flujo sostenido a presiones uniformes sin variaciones de presión. Provee la

flexibilidad máxima posible, desarrollando una presión específica máxima de descarga en cualquier condición de operación con caudal controlado ya sea por variación de velocidad o estrangulación. Los fabricantes han mejorado mucho la variación de presiones de operación, eficiencia y el diseño mecánico e hidráulico de su producto, así como los constructores de motores eléctricos mejoraron sus diseños, permitiendo a los fabricantes de bombas usar velocidades giratorias más altas y desarrollar bombas adecuadas para mayores alturas de elevación (Carter, 1982).

Las bombas de voluta se llaman generalmente, bombas de caracol, mientras que las de paletas difusoras se llaman bombas verticales de turbina.



**Figura 8.** Bomba caracol, adaptado de <http://mobesa.com>





**Figura 9.** Bomba vertical de turbina, adaptado de <http://www.fullmecanica.com>

#### **2.1.3.1. Impulsores de bombas centrífugas.**

Los impulsores de las bombas centrífugas son su principal elemento, hace girar el fluido con la velocidad periférica de las extremidades de los álabes, determinando así la altura de elevación producida o la presión de trabajo de la bomba, además de ser un componente determinante para la clasificación de estas. Las bombas pueden tener impulsores de acuerdo a: (Carter, 1982)

##### **1. La dirección principal del fluido en relación con el eje de rotación:**

- ✓ Impulsores de flujo radial, son aquellos que el líquido lo impulsan en dirección radial, obedece al diseño de los álabes del impulsor.
- ✓ Impulsores de flujo axial, ahora llamados, del tipo de hélice, son aquellos que por el diseño de los rodets impulsan el líquido en dirección axial al eje.
- ✓ Impulsores de flujo mixto, que combinan los principios de flujo radial y axial

## 2. Su admisión

- ✓ Impulsores de admisión simple, el líquido entra al ojo de succión solo por un lado.
- ✓ Impulsores de doble admisión, el líquido entra al impulsor simultáneamente por dos lados, teniendo los dos conductos de succión de la cubierta normalmente conectados a un conducto común de succión y a una sola boquilla de succión.

## 3. Su construcción mecánica

- ✓ Cerrados, con refuerzos o paredes laterales que encierran las vías de agua, desde el ojo de succión hasta la periferia, casi siempre se usa en bombas que manejan líquidos limpios. Este diseño evita el escurrimiento que se presenta en un impulsor abierto o semiabierto y sus placas laterales, pero es necesario que cuente con una junta movable entre sus impulsores y la cubierta para separar las cámaras de succión y descarga de la bomba.



**Figura 10.** Impulsor cerrado, adaptado de <http://grupomars.com>

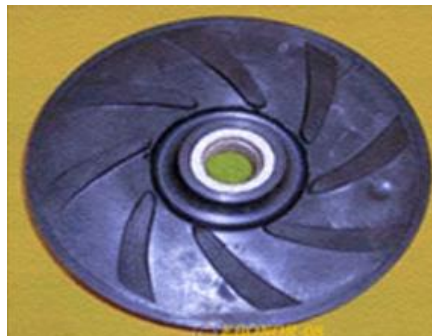
- ✓ Abiertos, consiste únicamente de álabes, están sujetos a un cubo central para montarse en la flecha sin forma alguna de pared lateral o cubierta, la desventaja de este impulsor es su debilidad estructural, en el caso de que

los álabes sean largos, deben reforzarse con costillas o una cubierta parcial. Generalmente son usados en bombas pequeñas y baratas o en bombas que manejan líquidos abrasivos.



*Figura 11.* Impulsor abierto, adaptado de <http://grupomars.com>

✓ Semiabiertos, comprende una cubierta o una pared trasera del mismo. Se pueden incluir o no, álabes de salida; éstos están localizados en la parte posterior de la cubierta del impulsor. Su función es reducir la presión en el cubo posterior del impulsor y evitar que la materia extraña que se bombea se acumule atrás del impulsor e interfiera con la operación apropiada de la bomba y del estopero.

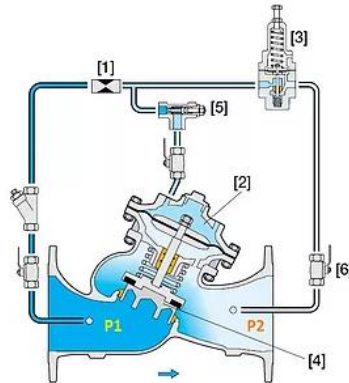


*Figura 12.* Impulsor semiabierto, adaptado de <http://grupomars.com>

#### **2.1.4. Válvula reductora de presión.**

La válvula reductora de presión, a veces también llamada reguladora de presión, es una válvula de control hidráulico cuya consigna es reducir una elevada presión aguas

arriba de la válvula a un valor menor constante aguas abajo de la misma, independientemente de las variaciones de presión aguas arriba y de las variaciones del flujo o de la demanda en la línea. (Ingeniería de Fluidos, 2018)



**Figura 13.** Válvula reguladora de presión, adaptada de <https://www.ingenieriadefluidos.com/valvula-reductora-de-presion>

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Pérdidas en Tuberías

Conforme el fluido fluye a lo largo de un tramo de tubería, manguera o tubo, su presión disminuye debido a la pérdida de energía, por la fricción que se crea en la interacción del fluido con la pared estacionaria y la turbulencia interna. Para el caso del flujo en tubería, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente. Esto se expresa en forma matemática como la ecuación de Darcy o ecuación (1). (Mott, 2006):

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

Donde,

$f_L$  = pérdida de energía debido a la fricción

$L$  = Longitud de la corriente del flujo (m)

$D$  = Diámetro de la tubería (m)

$v$  = Velocidad promedio del flujo ( $\frac{m}{s}$ )

$f$  = Factor de fricción adimensional

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

La fórmula Hazen – Williams es una de las más populares para el diseño y análisis de sistemas hidráulicos. Su uso se limita al flujo de agua en tuberías con diámetros mayores de 2” y menores de 72”. La velocidad de flujo no debe exceder 3 m/s. Asimismo, está elaborada para agua a 16°C. Su empleo con temperaturas más bajas o altas ocasionaría cierto error.

La ecuación (2) o ecuación Hazen – Williams simplificada se expresa de la siguiente forma:

$$h_f = \frac{10.64 \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot d^{4.871}} \quad (2)$$

Donde,

$h_f$  = pérdidas de energía por fricción (m)

$C = \text{Coeficiente de Hazen – Williams (adimensional)}$

$$Q = \text{Caudal } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$d = \text{diámetro interno de la tubería (m)}$

La Tabla 1. Indica los coeficientes de Hazen-Williams (C) para diferentes tipos de tuberías, este coeficiente es adimensional, de acuerdo con los manuales de PAVCO los coeficientes de Hazen - Williams para tuberías PVC, GRP y PEAD es de 150. (PAVCO, 2014).

**Tabla 1.**

*Coeficiente de Hazen – Williams Ch*

Tipo de tubería	Ch	
	Promedio para tuberías nuevas y limpias	Valor de diseño
Acero, hierro dúctil o fundido con aplicación centrifuga de cemento o revestimiento bituminoso	150	140
Plástico, cobre, latón, vidrio	140	130
Acero, hierro fundido, sin recubrimiento	130	100
Cemento	120	100
Acero corrugado	60	60

*Nota:* Ch= coeficiente de Hazen Williams, la tabla presenta los coeficientes de Hazen Williams para difentes tipos de tuberías. Adaptado de (Mott, 2006)

### 2.2.2. Altura de elevación.

La altura de elevación H, se puede calcular por medio de la ecuación de energía o ecuación (3)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H \quad (3)$$

Donde,

$P_1 = \text{Presión aguas arriba de VRP1 (Kg/cm}^2\text{)}$

$P_2 = \text{Presión aguas abajo de VRP1 (Kg/cm}^2\text{)}$

$\frac{V^2}{2g} = \text{Cabeza de Velocidad (m/s)}$

$\gamma = \text{Velocidad específica } \left(\frac{kN}{m^3}\right)$

$Z = \text{Altura (m)}$

$H = \text{Altura de elevación (m)}$

### 2.2.3. Potencia máxima generada en la línea de conducción

Para determinar la potencia máxima de salida de la tubería y conocer las características de esta, se hace necesario calcular los siguientes parámetros:

- Las pérdidas por fricción presentes en la tubería se calculan por medio de la ecuación de Hazen – Williams o ecuación (2).
- La altura de elevación H, se puede calcular por medio de la ecuación de energía o ecuación (3)
- La potencia máxima que se puede obtener en la línea de conducción a estudiar en este proyecto de grado, se realizaría por medio de la ecuación (4).

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000} \quad (4)$$

Donde:

*P: Potencia hidráulica (kW)*

*Q: Caudal de la tubería ( $m^3/s$ )*

*$\rho$ : Densidad del agua ( $kg/m^3$ )*

*g: Aceleración de la gravedad ( $9.8 m/s^2$ )*

*H: Altura neta (m)*

#### **2.2.4. Bombas usadas como Turbinas (BUTUS)**

Lugares en los que la generación de energía es poco asequible pero el suministro de agua es relativamente constante y la compra de una turbina no es considerable por su alto costo, una alternativa a estudiar es la implementación de bombas usadas como turbinas. Esta tecnología consiste en la operación inversa de una bomba centrífuga, dando como resultado energía en la salida. De este modo, la presión en la brida de entrada es mayor que en la brida de salida, siendo la brida de descarga (como bomba centrífuga) el punto de entrada de la bomba como turbina y la brida de succión (como bomba centrífuga) la salida principal de la turbina.

En lugares donde el suministro de agua no es continuo, las BUTUS presentan un inconveniente de operación, esto se debe a que las bombas no tienen alabes guías ajustables para adaptarse a las variaciones presentes en el fluido y aunque esto se puede resolver instalando varias unidades de diferentes tamaños para distribuir el volumen total de agua, es necesario que los interesados en desarrollar esta tecnología comprendan a fondo los requerimientos de su implementación.



Dentro de la industria del agua, este concepto ha sido explorado en un grado limitado, (KSB SE & Co, 2018), son uno de los fabricantes de bombas que participa en la inversión de bombas usadas como turbinas y registra un éxito considerable con sus soluciones en varias partes del mundo donde las aplicaciones de las BUTUS varían desde pequeños sistemas de energía hidroeléctrica, sistemas de transporte de aguas principales, hasta sistemas industriales donde estos equipos se pueden emplear como una alternativa de estrangulación, ya que pueden ser económicamente incorporadas en varias situaciones como (Garay, 1990):

- En corrientes y depósitos tradicionales (donde la presión se reduce)
- En la reducción de presión en la terminación de sistemas de distribución
- En el servicio de tubería, para mantener la línea llena y evitar sobrepresiones

Sander Klos, afirma que los costos de inversión para las unidades hidroeléctricas convencionales (turbinas) son relativamente altos y el periodo de recuperación puede ser hasta de 15 años. Con las BUTUS, el periodo de amortización puede ser hasta de 3 años y la complejidad de operación es considerablemente baja con respecto a las turbinas. (Orchard, 2009).

#### **2.2.4.1. Ventajas Bombas usadas como turbinas:**

- Menor costo de inversión y mantenimiento.
- Las bombas estándar se pueden usar dentro de una amplia gama de cabezales y flujos.

- Existe mayor variedad de tamaños en el mercado.
- Disponibilidad de repuestos, sellos, cojinetes.
- Menor tiempo de entrega.
- Fácil instalación y mantenimiento (se emplean accesorios y tuberías estándar).

#### **2.2.4.2. Desventajas Bombas usadas como turbinas:**

- Dificultad en identificar la bomba correcta para unas condiciones particulares.
- Pocos registros de investigación académica.

#### **2.2.5. Teoría diseño del impulsor.**

Teniendo en cuenta la tecnología de la bomba que se va a utilizar, en esta etapa del proyecto se realizará el dimensionamiento y diseño básico de la máquina de flujo. Este proceso comprende la definición los parámetros geométricos y cinemáticos básicos de los componentes tales como: diámetro del impulsor, ángulos de entrada y salida de álabes fijos y móviles, velocidades de entrada y salida del fluido, velocidad angular, entre otras características. Las actividades a realizar son las siguientes:

- Definición de condiciones de operación y/o servicio de la línea de conducción a estudiar, velocidad específica, velocidad de operación y altura de elevación.
- Definición de las dimensiones y características geométricas de los componentes principales de la bomba utilizando teoría de mecánica de fluidos, diseño de turbo-máquinas y teoría de álabes.

- Diseño preliminar del impulsor mediante software especializado de transferencia de energía en la bomba para asegurar la potencia esperada, así como variación de los siguientes parámetros geométricos para determinar la influencia de cada uno de ellos el desempeño de la bomba:
- ✓ Geometría del rotor o impulsor: Representa la forma y cantidad de alabes.

#### **2.2.5.1. Eficiencias en bombas centrífugas usadas como turbinas.**

En una bomba centrífuga el impulsor genera toda la carga. El resto de las partes no ayudan a aumentarla, sino que producen pérdidas inevitables, tanto hidráulicas como mecánicas.

Todas las pérdidas que se originan entre los puntos donde se mide la presión de succión y descarga, constituyen las perdidas hidráulicas. Estas incluyen pérdidas por fricción desde la brida de succión hasta la de descargas; las pérdidas debidas a cambio brusco, tanto en área como en dirección de flujo; y todas las pérdidas debidas a turbulencias, cualquiera que sea su causa. (Viejo Zubicaray, 2000).

La eficiencia hidráulica o ecuación (5), se define como la razón de la carga dinámica total disponible a la carga de entrada:

$$\eta_H = \frac{1 - 0,42}{(\log Do - 0,172)^2} \quad (5)$$

Dónde

$\eta_H$ : Eficiencia hidraulica

$Do$ : Diámetro del ojo del impulsor (mm)

A demás de las pérdidas de carga existen pérdidas de capacidad, debido a fugas que existen en los espacios entre partes rotatorias y estacionarias de las bombas.

El gasto en la descarga de la bomba es menor que en la succión y también, es menor que el gasto que pasa por el impulsor. (Viejo Zubicaray, 2000)

El cociente de los gastos se llama la eficiencia volumétrica o ecuación (6):

$$\eta_v = \frac{1}{1 + 0,68 \cdot n_s^{-2/3}} \quad (6)$$

Donde

$n_v$ : Eficiencia volumétrica

$n_s$ : Velocidad específica (rpm)

Las perdidas mecánicas incluyen pérdidas de potencia en chumaceras y estoperos y la fricción en el disco. La última pérdida es de tipo hidráulico, pero se agrupa con las pérdidas mecánicas puesto que se produce fuera del flujo a través de la bomba y no ocasiona una pérdida de carga. (Viejo Zubicaray, 2000).

La eficiencia mecánica o ecuación (7), es el cociente de la potencia realmente absorbida por el impulsor y convertida en carga, y la potencia aplicada a la flecha de la bomba:

$$\eta_m = 1 - 0,07 \frac{1}{\left(\frac{n_s}{100}\right)^{7/6}} \quad (7)$$

Ahora bien la eficiencia total o ecuación (8), corresponde al producto de las eficiencias hidráulica, mecánica y volumétrica:

$$\eta_0 = \eta_v \cdot \eta_H \cdot \eta_m \quad (8)$$

### 2.2.5.2. Velocidad específica en bombas usadas como turbinas.

La velocidad específica ( $n_s$ ), se define como aquella velocidad en revoluciones por minuto (rpm), a la cual un impulsor geoméricamente similar al impulsor en cuestión, pero pequeño, desarrollaría una carga unitaria a una capacidad unitaria.

La

Tabla 2. Muestra la clasificación que tienen las bombas centrífugas en función de la velocidad específica:

Tabla 2.

*Selección de bomba centrífuga.*

<i>Nº</i>	<i>Velocidad específica (rpm)</i>	<i>Tipo de bomba centrífuga</i>
1.	10-30	Bomba de velocidad baja con flujo radial en la salida
2.	30-50	Bomba de velocidad media con flujo radial en la salida
3.	50-80	Bomba de velocidad alta con flujo radial en la salida
4.	80-160	Bomba de velocidad alta con flujo mixto en la salida
5.	160-500	Bomba de velocidad alta con flujo axial en la salida

*Nota:* rpm= revoluciones por minuto. La tabla presenta la selección del tipo de bomba centrífuga en función de la velocidad específica, adaptado de "Desing of Monoblock Centrifugal Pump Impeller", por (Kallappa & Salunke, 2015), *International Journal Of Mechanical Engineering And Information Technology*, p. 1074-1078. India: IGM Publication.

La velocidad específica puede expresarse en diferentes unidades, sin embargo la ecuación (9) representa la velocidad específica en sistema métrico:

$$\eta_s = \frac{n \sqrt{Q}}{(H)^{3/4}} \quad (9)$$

Donde,

$\eta_s$ : Velocidad específica (rpm)

$n$ : Velocidad del rotor (rpm)

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$H$ : Altura o cabeza (m)

### 2.3. Diseño del impulsor bomba usada como turbina

El primer paso en el diseño de una bomba centrífuga es la selección de la velocidad específica en el punto de mejor eficiencia. Esto significa la selección de la velocidad de operación y del número de pasos necesarios para proporcionar la carga requerida.

El trazo del impulsor se podrá llevar a cabo si se conocen los siguientes elementos:

- Velocidades meridionales en la entrada y salida.
- Diámetro exterior del impulsor.
- Ángulos de entrada y salida del aspa del impulsor.

Estas cantidades determinan los triángulos de entrada y salida de Euler. (Viejo Zubicaray, 2000).

#### 2.3.1. Etapas diseño del impulsor de la bomba usada como turbina.

Para la determinación de los elementos geométricos del impulsor de la bomba, en las condiciones de servicio propuestos, es necesario realizar los siguientes cálculos:

Determinar la altura de elevación (H) o ecuación (3)

Calcular la velocidad específica ( $n_s$ ) o ecuación (9).

Calcular la eficiencia hidráulica ( $\eta_H$ ) o ecuación (5).

Calcular la eficiencia volumétrica ( $\eta_V$ ) o ecuación (6).

Calcular la eficiencia mecánica ( $\eta_m$ ) o ecuación (7).

Calcular la eficiencia total ( $\eta_0$ ) o ecuación (8).

Calcular el Diámetro del ojo del impulsor ( $D_0$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (10):

$$D_0 = k_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad (10)$$

Dónde:

$D_0$ : *Diámetro del ojo del impulsor (mm).*

$k_0$ : *Constante y el valor corresponde a 4,5.*

$n$ : *Velocidad del rotor (rpm).*

- a. Calcular el diámetro de entrada del impulsor ( $D_1$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (11):

$$D_1 = (1,1 \sim 1,15) \cdot k_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad (11)$$

Dónde:

$D_1$ : *Diámetro de entrada del del impulsor (mm).*

- b. Calcular la velocidad tangencial de entrada del alabe o de arrastre del fluido ( $U_1$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (12):

$$U_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} \quad (12)$$

- c. Calcular la velocidad absoluta del fluido en la entrada ( $V_1$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (13):

$$V_1 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_1^2} \quad (13)$$

- d. Calcular la velocidad del fluido en la entrada ( $V_{f1}$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (14):

$$V_{f1} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_1^2} \quad (14)$$

- e. Calcular al ángulo del alabe con la tangente a la entrada del rotor ( $\beta_1$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (15):

$$\beta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{V_1}{U_1}\right) \quad (15)$$

- f. Calcular la velocidad relativa del fluido con respecto al álabe ( $V_{r1}$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (16):

$$V_{r1} = \sqrt{V_1^2 + U_1^2} \quad (16)$$

- g. Calcular la velocidad relativa en la salida ( $V_{r2}$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (17):

$$V_{r2} = \frac{V_{f1}}{\sin \beta_1} \quad (17)$$



- h. Calcular el coeficiente de la velocidad de arrastre ( $\Psi$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (18):

$$\Psi = \frac{g \cdot H}{\eta \cdot U_2^2} \quad (18)$$

Generalmente,  $\Psi$ : 0,5 a 0,6

- i. Calcular la velocidad tangencial a la salida del alabe ( $U_2$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (19):

$$U_2 = \sqrt{\frac{g \cdot H}{\eta \cdot \Psi}} \quad (19)$$

- j. Calcular el diámetro de salida del impulsor ( $D_2$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (20):

$$D_2 = \frac{U_2 \cdot 60}{\pi \cdot \eta} \quad (20)$$

- k. Calcular el coeficiente de la velocidad de arrastre ( $\emptyset$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (21):

$$\emptyset = \frac{V_{f2}}{U_2} \quad (21)$$

Generalmente,  $\emptyset$ : 0,1 a 0,2

- l. Calcular la velocidad del fluido en la salida ( $V_{f2}$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (22):

$$V_{f2} = \emptyset \cdot U_2 \quad (22)$$

- m. Calcular la velocidad de giro en la salida ( $V_{w2}$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (23):

$$V_{f2} = \emptyset \cdot U_2 \quad (23)$$

- n. Calcular la velocidad absoluta del fluido en la salida ( $V_2$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (24):

$$V_2 = \sqrt{(V_{w2})^2 + (V_{f2})^2} \quad (24)$$

- o. Calcular el ángulo de inclinación del alabe con la tangente a la salida del rotor ( $\beta_2$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (25):

$$\beta_2 = \frac{V_{f2}}{U_2 - V_{w2}} \quad (25)$$

- p. Calcular la velocidad relativa en la salida ( $V_{r2}$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (26):

$$V_{r2} = \frac{V_{f2}}{\sin \beta_2} \quad (26)$$

- q. Calcular el radio del ojo del impulsor ( $R_0$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (27):

$$R_0 = \frac{D_0}{2} \quad (27)$$

- r. Calcular el número de alabes del impulsor ( $Z$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (28):

$$Z = \frac{6,5 \cdot \left( \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \right) \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2)}{2} \quad (28)$$

- s. Calcular el coeficiente ( $\sigma$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (29)

$$\sigma = \frac{1 - (\sin \beta_2)^{1/2}}{\beta_1 \cdot Z^{0,7}} \quad (29)$$

- t. Calcular la cabeza de presión ( $H_m$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (30):

$$H_m = \frac{V_{w2} \cdot U_2}{g} \quad (30)$$

- u. Calcular el radio de arco circular ( $R$ ), el cual es calculado por medio de la ecuación (31):

$$R = \frac{(R_2)^2 - (R_1)^2}{2 \cdot (R_2 \cdot \cos \beta_2 - R_1 \cdot \cos \beta_1)} \quad (31)$$

Donde,

$R$ : Radio de arco circular (mm)

$R_1$ : Radio de entrada del diámetro (mm)

$R_2$ : Radio de salida del diámetro (mm)

$\beta_1$ : Ángulo del alabe con la tangente a la entrada del rotor

$\beta_2$ : Ángulo de inclinación del alabe con la tangente a la salida del rotor

### 2.3.2. Potencia generada por bomba utilizada como turbina.

#### 2.3.2.1. Ecuaciones para cálculo de potencia de turbina.

La metodología empleada para determinar la potencia generada por la bomba utilizada como turbina, fue la desarrollada en el artículo propuesto por (Huang, Qiu, Su, Chen, &

Zou, 2017), en la cual se emplean ciertos parámetros de la bomba para la predicción del rendimiento como turbina.

Para el cálculo de la potencia generada por la bomba cuyos cálculos fueron presentados en el capítulo anterior se utiliza la ecuación (32).

$$P_{turb} = \gamma Q_T H_T \quad (32)$$

Donde,

$P_{turb}$ : representa la potencia de la bomba generada como turbina.

$$q = \frac{Q_T}{Q_P} \quad (33)$$

Donde,

$Q_T$ : es el caudal de la turbina

$q$ : es la eficiencia en modo turbina

$Q_P$ : es el caudal de la bomba.

$$h = \frac{H_T}{H_P} \quad (34)$$

Donde

$H_T$ : es la cabeza de la turbina

$h$ : es la eficiencia en modo bomba

$H_P$ : es la cabeza de la bomba , calculada en la ecuación (3).

Los factores de conversión de las ecuaciones (33) y (34) están relacionados con los principales parámetros de geometría y condiciones de operación sin la limitación del rango estadístico/empírico, los datos de rendimiento (Ej., Caudal y altura en BEP) o la

geometría 3D detallada en modo bomba, son de gran generalidad y viabilidad. (Huang, Qiu, Su, Chen, & Zou, 2017).

En el artículo propuesto por (Huang, Qiu, Su, Chen, & Zou, 2017), el caudal de la turbina  $Q_T$  o  $\varphi_T$ , también puede expresarse por medio de la ecuación (35):

$$\varphi_T = \frac{b_1 \xi_1 \tan \beta_1 \sqrt{F} \ln(1 + 2 \sqrt{F}/D_2) \left[ \sigma_2 - \sigma_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]}{2 \eta_v \pi b_2 \xi_2 b_1 \xi_1 \tan \beta_1 - b_2 \xi_2 \sqrt{F} \ln(1 + 2 \sqrt{F}/D_2)} \quad (35)$$

Donde  $Z, D, b, \delta, \beta, \lambda$  y  $F$  muestra los principales parámetros de geometría del impulsor y la voluta en una bomba centrífuga, estos parámetros representan el número de álabes del impulsor, diámetro del impulsor, ancho del pasaje en el plano meridional, espesor de la cuchilla, ángulo de la ala del impulsor desde la dirección circunferencial, el ángulo de la línea de corriente desde la dirección horizontal en el plano meridional y área de la sección transversal de la voluta, respectivamente. Ver Figura 14.

$\xi_1$  y  $\xi_2$  Representan el factor de bloqueo de entrada y salida de la bomba, los cuales se calculan por medio de las ecuaciones (36) y (37) respectivamente.

$$\xi_1 = 1 - \frac{Z_1 \delta_1}{\pi D_1} \sqrt{1 + \left( \frac{\cot \beta_1}{\sin \lambda_1} \right)^2} \quad (36)$$

$$\xi_2 = 1 - \frac{Z_2 \delta_2}{\pi D_2} \sqrt{1 + \left( \frac{\cot \beta_2}{\sin \lambda_2} \right)^2} \quad (37)$$

El caudal de la bomba  $Q_P$  o  $\varphi_P$ , también puede expresarse por medio de la ecuación (35):

$$\varphi_P = \frac{\sigma_2}{\cot \beta_2 + \frac{2\pi b_2 \eta_v \xi_2}{\sqrt{F} \cdot \ln(1 + 2\sqrt{F}/D_2)}} \quad (38)$$

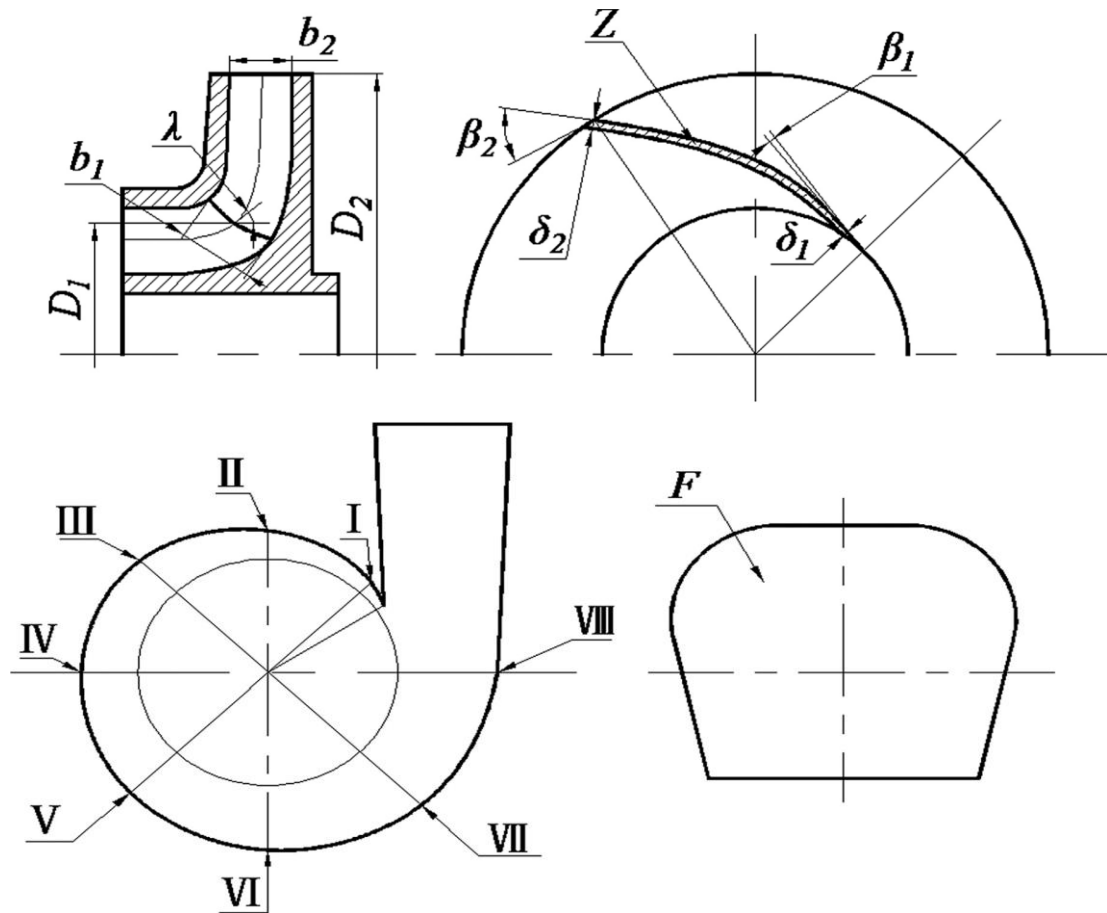
A partir de la ecuación (34) podemos determinar la eficiencia en modo bomba, sin embargo la cabeza de la turbina  $H_T$  o  $\psi_T$ , puede ser calculada por medio de la ecuación (39).

$$\psi_T = \frac{2\eta_v \pi b_2 \xi_2 b_1 \xi_1 \tan \beta_1 \left[ \sigma_2 - \sigma_1 \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]}{2\eta_v \pi b_2 \xi_2 b_1 \xi_1 \tan \beta_1 - b_2 \xi_2 \sqrt{F} \ln(1 + 2\sqrt{F}/D_2)} \quad (39)$$

La cabeza de la bomba  $H_P$  o  $\psi_P$ , puede ser determinada por medio de la ecuación (40):

$$\psi_P = \frac{2\pi b_2 \eta_v \xi_2 \sigma_2}{2\pi b_2 \eta_v \xi_2 + \sqrt{F} \cot \beta_2 \ln(1 + 2\sqrt{F}/D_2)} \quad (40)$$

Mediante el uso de estas relaciones (Huang, Qiu, Su, Chen, & Zou, 2017) encontraron que la diferencia con los datos experimentales es inferior al 5%. De hecho, el máximo error encontrado fue de 4,76%.



**Figura 14** Principales parámetros geométricos en una bomba. Adaptado de (Huang, Qiu, Su, Chen, & Zou, 2017)

## 2.4. Marco geográfico

El departamento del atlántico posee un área de 3,386 km<sup>2</sup> está situado al norte del territorio colombiano, se encuentra a una latitud norte entre los 10° 15' 36 " (Sur de San Pedrito) y 11° 06' 37" (Bocas de Ceniza) y a una Longitud oeste de Greenwich 74° 42' 47" (margen izquierda del río Magdalena) 75° 16' 34" (intersección Santa Catalina y Arroyo grande). El departamento limita al norte y noreste con el mar Caribe, Al este, con el río Magdalena, al sur, suroeste y oeste con el departamento de Bolívar. El departamento presenta un clima tropical de estepa y sabana de carácter árido en la desembocadura del

río Magdalena y alrededores de Barranquilla; semi-árido en las fajas aledañas al litoral y al río Magdalena y semihúmedo desde Sabanalarga hacia el sur. En la orografía del territorio predomina las tierras bajas y llanas, las ciénagas y serranías y una franja litoral entre desértica y sabana. (Gobernación del Atlántico, 2018)

## **2.5. Marco legal**

Esta investigación tuvo como base normativa la ley 1715 de 2014 que tiene como objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, aplicable todos los agentes públicos y privados que intervengan en el fomento de la gestión eficiente de la energía y en la prestación del servicio de energía eléctrica y sus actividades complementarias conforme a lo dispuesto en las leyes 142 de 1994 por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y 143 de 1994 que establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional.

De acuerdo a la ley 1715 todas las entidades obligadas a decretar renta y que realicen inversiones en la investigación y desarrollo en el ámbito de producción y utilización de energía, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el cincuenta por ciento (50%) del valor total de la inversión realizada pero no podrá ser en ningún caso superior al 50% de la renta líquida del contribuyente determinada antes de restar el valor de la inversión.

En cuanto a los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, el Ministerio de Minas y Energía y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible continuarán promocionando



su desarrollo como solución energética y promoverán la gestión y el manejo integral del recurso hídrico de las cuencas hidrográficas del país.

### **3. Marco metodológico**

#### **3.1. Diseño metodológico**

Para el desarrollo del presente proyecto de grado se llevaron a cabo tres fases metodológicas:

##### **3.1.1. Etapa 1.**

En esta etapa se realizará la selección de la red de distribución a estudiar, analizando las condiciones actuales de servicio, para esto se tendrá en cuenta, tanques de almacenamiento, redes de distribución y líneas de conducción (diámetros, caudales, presiones, materiales y edades de las tuberías) y topografía, entre otros. Por tanto, se propone ejecutar las siguientes actividades:

- Seleccionar la línea de conducción o red de distribución.
- Levantamiento de información técnica.
- Análisis de información técnica.
- Levantamiento de información tecnológica disponible.

##### **3.1.2. Etapa 2.**

En esta etapa se llevará a cabo un análisis de las diferentes bombas que se encuentran en el mercado y que nos garanticen un mayor aprovechamiento de energía en líneas de conducción de agua potable. Para esto se deberá ejecutar las siguientes actividades:

- Revisión teórica de las bombas usadas como turbinas.

- Análisis de las ventajas y desventajas que tienen las bombas usadas como turbinas.
- Determinar los mecanismos de selección para bombas usadas como turbinas, a partir del diseño del impulsor de la bomba.
- Analizar los beneficios económicos que adquieren las empresas por la generación de energía no convencional de acuerdo a lo establecido en la ley 1715 de 2014.

### **3.1.3. Etapa 3.**

En esta etapa se determinará la rentabilidad por la implementación de las BUTUS en empresas destinadas a la distribución de agua potable, mediante la determinación de los costos de adquisición, de operación y mantenimiento, elaboración de los flujos de caja y el cálculo de parámetros financieros como la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación de la inversión.

## **4. Resultados**

### **4.1. Descripción de la empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios**

La empresa Triple A S.A E.S.P tiene bajo su operación la prestación de servicios públicos como Acueducto, Alcantarillado y Aseo, a la ciudad de Barranquilla y 14 municipios del departamento del Atlántico, tales como: Baranoa, Galapa, Juan de Acosta, Palmar de Varela, Piojo, Polonuevo, Puerto Colombia, Sabanagrande, Sabanalarga, Santo Tomas, Soledad, Tubará y Usiacurí garantizando calidad, excelencia y continuidad de los servicios públicos las 24 horas del día, mejorando la calidad de vida a más de 2 millones de personas. (Triple A S.A E.S.P., 2017)

Actualmente la empresa Triple A cuenta con cuatro estaciones de captación y tratamiento del agua ubicada en Barranquilla, las Flores, Ponedera y Sabanagrande, para luego ser distribuida por la red de acueducto hasta las 11 estaciones de bombeo, las cuales son las encargadas de proporcionar la energía requerida para elevar el agua desde cotas bajas (nivel del río) hasta cotas altas, a través de kilómetros de tuberías. Las principales estaciones de rebombeo son:

- Estación Acueducto ETAP (Barranquilla)
- Estación de El Recreo (Barranquilla)
- Estación Ciudadela (Barranquilla)
- Estación Las Delicias (Barranquilla)
- Estación municipio Galapa

- Estación municipio Puerto Colombia
- Estación municipio Sabanagrande
- Estación municipio Sabanalarga
- Estación municipio Tubará (El Radar)
- Estación municipio Piojó
- Estación municipio Usiacurí

La longitud total de la red de distribución es de 3,469 km aproximadamente, la antigüedad de la red de abastecimiento es de acuerdo a la Tabla 3:

Tabla 3.

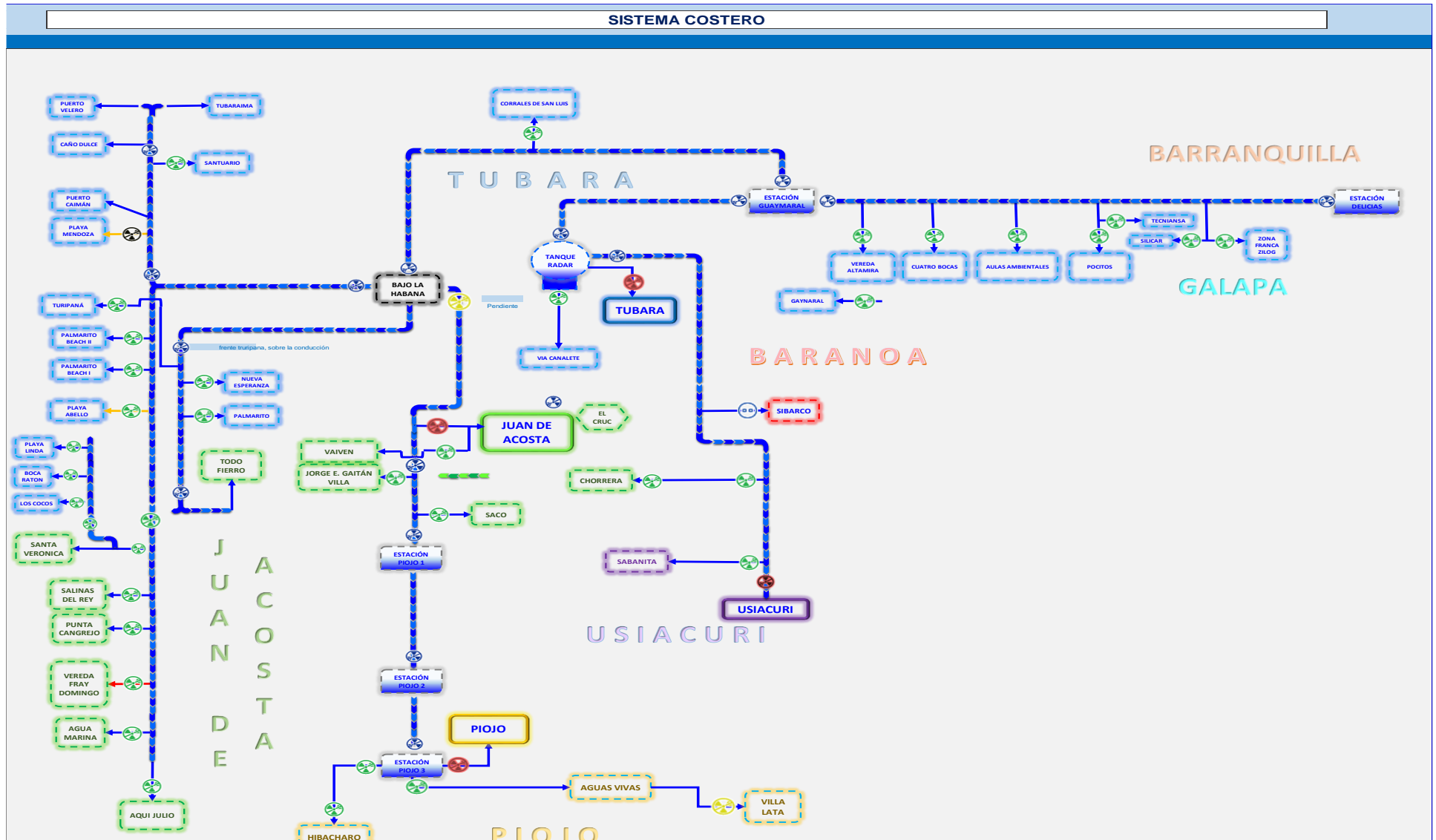
*Porcentaje de edad de las tuberías de distribución.*

<b>Antigüedad de la red de abastecimiento</b>	<b>% 2017</b>	<b>% 2016</b>
Menor de 15 años	32.1	31.2
Entre 15 y 30 años	63.3	64
Mayor de 30 años	4.6	4.6

*Nota:* La tabla representa el porcentaje de edad de las tuberías de distribución operado por la empresa prestadora de servicio de Barranquilla y los municipios del Atlántico, adaptado de “(Triple A S.A E.S.P., 2017)”

A partir de la Tabla 3. y disponibilidad de información, la línea de conducción o red de distribución a analizar en esta tesis, será la ubicada a la salida del tanque de Tubará –

El Radar hacia Usiacurí, esta red es una tubería de 8” en polietileno de alta densidad (PEAD), la cual abastece el servicio de agua potable al municipio de Usiacurí por un sistema de gravedad o potencial desde el tanque el Radar, ver Figura 15.



**Figura 15** Sistema de distribución acueducto costero. La figura demuestra una descripción gráfica del sistema de distribución de agua potable del acueducto costero, operado por la empresa prestadora de servicios públicos, adaptado de (Triple A S.A E.S.P., 2017)

La selección de esta línea de conducción se realiza teniendo en cuenta las condiciones (topográficas, ubicación del tanque y las presiones de la red), la cual brinda un potencial energético que se puede recuperar implementando una bomba como turbina, así mismo esta tubería cuenta con 3 válvulas reguladoras de presión, las cuales contribuyen a reducir la presión, para evitar fugas por roturas en la tubería y garantizar un buen servicio en este municipio.

De la empresa prestadora de servicio público, se sabe que la tubería estudiada en este proyecto de tesis tiene las siguientes características:

- Longitud = 18 km
- Diámetro = 8"
- Número de válvulas reguladoras de presión (VRP) = 3 unidades.
- Caudal (Q) = 28 L/s
- Presión aguas arriba de válvula regulador de presión VRP1= 82,33 psi
- Presión aguas abajo de válvula regulador de presión VRP1 = 47,64 psi

La presión aguas arriba y aguas abajo de la VRP1 son el promedio de los valores registrados por un medidor de presión o logger en el transcurso de una semana. Se decide que la VRP a estudiar es la primera instalada desde de la salida del tanque EL RADAR hacia Usiacurí, teniendo en cuenta que de las tres VRP instaladas en toda la línea, esta es la que mejor desempeño registra. Anexo 1

Para la selección del caudal, se tomó el promedio de los valores registrados en el transcurso de una semana, estos fueron leídos por un medidor electromagnético que se encuentra instalado en la tubería de conducción Anexo 2



#### 4.2. Cálculo de parámetros hidráulicos de la línea de conducción El Radar-Usiacurí

En la Tabla 4 se presentan las condiciones de servicio de la línea de conducción El Radar –Usiacurí.

Tabla 4.

*Condiciones de servicio línea de conducción Tubará - Usiacurí*

Parámetro	Nomenclatura	Valor
Caudal	Q	28 L/s
Presión aguas arriba VRP	Pd	6,33 Kg/cm <sup>2</sup>
Presión aguas abajo VRP	Ps	3,44 Kg/cm <sup>2</sup>
Largo de VRP	Y	0,3 m
Diámetro nominal tubería	Ø	0,25 m
Aceleración de la gravedad	G	9,8 m/s <sup>2</sup>

*Nota:* La tabla presenta las principales condiciones de servicio de la línea de conducción Tubará- Usiacurí, de elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el análisis de información suministrada por la empresa prestadora de servicio de agua potable (Anzola & Colón, 2018)

La Tabla 5. muestra los principales parámetros hidráulicos calculados en función de las ecuaciones (2) a la ecuación (4), donde las pérdidas por fricción corresponden a las pérdidas por metro lineal de tubería.

Tabla 5.

*Parámetros hidráulicos de la línea de conducción El radar – Usiacurí*

Parámetros hidráulicos		
Perdidas por Fricción	H <sub>f</sub>	0,332 m
Altura de Elevación	H	29,5 m
Potencia de Salida	P	8,1 kW

*Nota:* La tabla presenta los principales parámetros hidráulicos calculados en la línea de conducción el Radar-Usiacurí en función del diámetro de la tubería, presiones y caudales, de elaboración propia (Anzola & Colón, 2018)

### 4.3. Cálculo dimensiones del impulsor de la bomba

La Tabla 6. muestra los resultados del cálculo de las dimensiones del impulsor de la bomba que se utilizaría para bombear el agua hacia el tanque “El Radar”. Es importante anotar que estas dimensiones serán utilizadas para calcular el desempeño de este impulsor operando en modo inverso, es decir, como turbina. Para calcular las dimensiones del impulsor se emplearon las ecuaciones (5) a la (31).

Tabla 6.

*Resultado de cálculos necesarios para el diseño del impulsor*

Parámetro	Nomenclatura	Valor
Altura de elevación	H	29,5 m
Velocidad específica	N <sub>s</sub>	23 m/s
Eficiencia Hidráulica	$\eta_H$	0,66362714
Eficiencia Volumétrica	H <sub>v</sub>	0,92269155
Eficiencia Mecánica	H <sub>m</sub>	0,61355382
Eficiencia Total	$\eta_0$	0,37569321
Diámetro del ojo del impulsor	D <sub>0</sub>	113,39 mm
Diámetro de entrada del impulsor	D <sub>1</sub>	147,41 mm

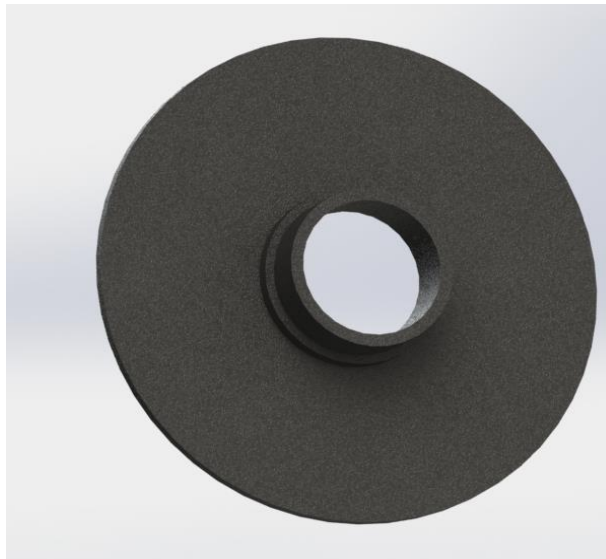
Velocidad tangencial de entrada	$U_1$	13,51 m/s
Velocidad absoluta del líquido en la entrada	$V_1$	1,64 m/s
Velocidad de flujo en la entrada	$V_{f1}$	1,64 m/s
Ángulo del alabe de entrada del impulsor	$\beta_1$	6,93°
Velocidad relativa en la entrada	$V_{r1}$	13,61 m/s
Velocidad relativa en la salida	$V_{r2}$	13,61 m/s
Coeficiente de cabeza	$\Psi$	0,55
Velocidad tangencial a la salida	$U_2$	37,42 m/s
Diámetro de salida del impulsor	$D_2$	408,37 mm
Coeficiente de flujo	$\Phi$	0,175
Velocidad de flujo en la salida	$V_{f2}$	6,55 m/s
Velocidad de giro en la salida	$V_{w2}$	25,49 m/s
Velocidad absoluta del líquido en la salida	$V_2$	26,32 m/s
Ángulo de inclinación del álabe a la salida	$\beta_2$	28,76°
Velocidad relativa en la salida	$V_{r2}$	13,61 m/s
Radio del ojo impulsor	$R_0$	56,70 mm
Número de álabes	$Z$	5
Slip Value	$\Sigma$	0,9946
Cabeza de presión	$H_m$	97,33 m
Radio de arco circular	$R$	127,31 mm

*Nota:* La tabla presenta los principales resultados para el diseño del impulsor, de elaboración propia a partir de los datos de condiciones de servicio de la tubería de conducción el Radar- Usiacurí (Anzola & Colón, 2018).

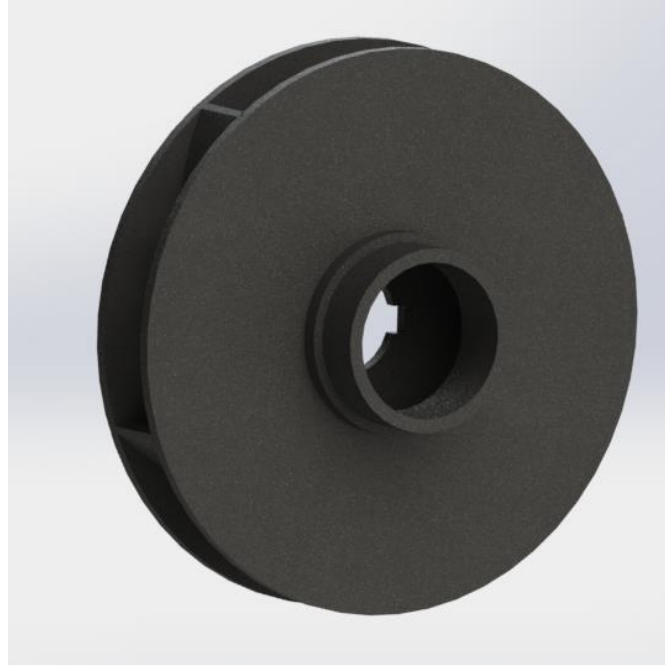
Las Figura 16 a la Figura 18 muestran un esquema 3D del impulsor de la bomba dibujado con el software de diseño asistido por computador (CAD) Solidworks®. Los detalles de las dimensiones principales del impulsor se encuentran en el Anexo 3 Diseño del impulsor. A partir de las dimensiones del impulsor y las condiciones de servicio, se procede a cotizar una bomba centrífuga en el mercado local. Los resultados de la cotización de la misma se encuentran en el Anexo 6.



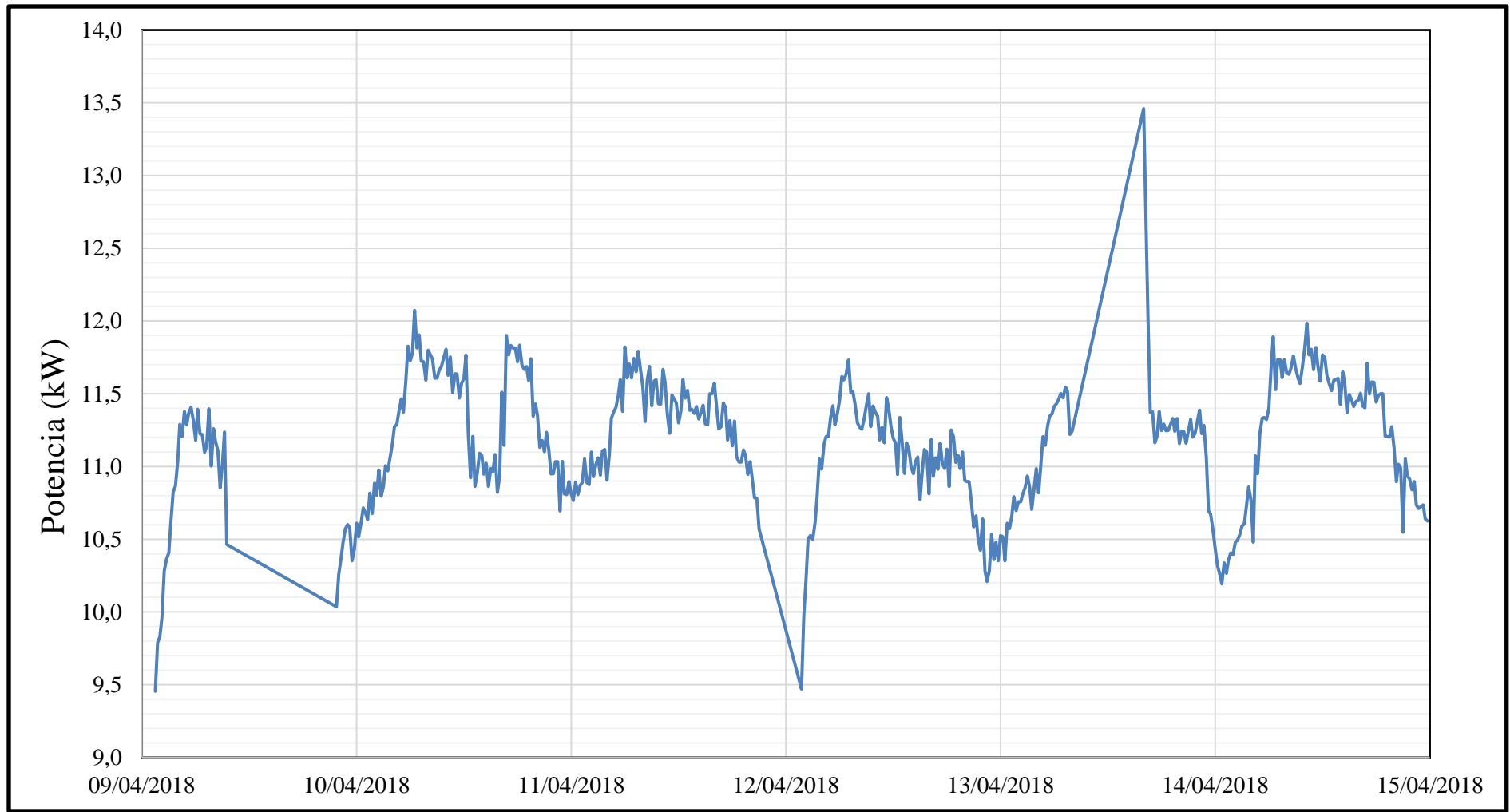
**Figura 16** Parte interna del impulsor, La figura muestra una descripción gráfica del sistema interno del impulsor diseñado mediante software CAD, esta representación fue elaborada de forma propia. (Anzola & Colón, 2018)



**Figura 17** Tapas del impulsor, La figura muestra una descripción gráfica de las tapas del impulsor diseñado mediante software CAD, esta representación fue elaborada de forma propia. (Anzola & Colón, 2018)



**Figura 18** Impulsor ensamblado, La figura muestra una descripción gráfica del impulsor diseñado mediante software CAD, esta representación fue elaborada de forma propia. (Anzola & Colón, 2018)



**Figura 19** Potencia obtenida BUTUS en la Línea de conducción Tanque Radar- Usiacurí, La figura muestra una descripción gráfica de la potencia generada por el impulsor trabajando en la bomba como turbina, esta representación es de elaboración propia. (Anzola & Colón, 2018)

#### 4.4. Resultados potencia generada

A partir de la geometría de la bomba cotizada en el mercado local (ver Anexo 6), se procedió a determinar la potencia que genera esta bomba operando como una turbina. Para el cálculo de la potencia mecánica generada se emplearon las ecuaciones (32) a la (40), además de las caídas de presión en las VRP y los caudales presentados en Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente. La Figura 19 muestra el comportamiento de la potencia mecánica generada a partir de los datos históricos de los días 9 al 15 de abril de 2018. Los resultados muestran una potencia mínima de 9.47 kW y una potencia máxima de 13.46 kW, sin embargo, la potencia generada oscila entre 10 y 12 kW.

De la Figura 19, se puede obtener la Tabla 7., la cual muestra el promedio de potencia obtenida en kW y la energía total generada en kWh por días.

Tabla 7.

*Resultado de potencia (kW) y energía generada (kWh/día) por medio de la BUTUS*

Fecha	Potencia (kW)	Energía Generada (kWh/día)
2018-04-09	10,79	165,05
2018-04-10	11,30	271,26
2018-04-11	10,76	247,4
2018-04-12	10,80	256,45
2018-04-13	11,08	232,43
2018-04-14	11,23	266,76

*Nota:* La tabla presenta los principales resultados de potencia (kW) y energía generada en la Línea de conducción El Radar-Usiacurí, empleando una bomba como turbina, esta representación fue elaborada de forma propia (Anzola & Colón, 2018)

De la Tabla 7. Se puede determinar que la energía promedio generada por medio de la BUTUS puede alcanzar 240 kWh/día, ahora bien, si se realiza la proyección en el año

sería de 64320 kWh/año, lo que es un muy buen valor dadas las condiciones con las cuales opera esta red de conducción.

#### 4.5. Evaluación financiera

##### 4.5.1. Inversión del proyecto.

En la Tabla 8., se presenta el presupuesto de adquisición de equipos y materiales, en el cual se especifica el costo discriminado por subsistemas: sistema de bombeo, transporte al sitio de proyecto, tuberías y accesorios para su instalación, mano de obra, servicio técnico, soportería y consumibles.

Tabla 8.

*Costo de los componentes adquisición de sistema de bombeo y accesorios para la instalación*

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>1</b>	<b>SISTEMA DE BOMBEO</b>			
1.1	Bomba IHM 8x31 PE (Prensa estopa)	1	\$ 3.622.182	\$ 3.622.182
1.2	Alternador 15 kW Stamford Newage Alternator	1	\$ 6.678.469	\$ 6.678.469
<b>2</b>	<b>TRANSPORTE A SITIO DE PROYECTO</b>			
2.1	Transporte Bomba a Tubará	1	\$ 500.000	\$ 500.000
<b>3</b>	<b>TUBERÍAS Y ACCESORIOS</b>			
3.1	Tee polietileno 8"	2	\$ 394.357	\$ 788.714
3.2	Codos de polietileno de 8"	2	\$ 208.660	\$ 417.320
3.3	Válvulas de compuerta de 8"	2	\$ 1.086.470	\$ 2.172.940
3.4	Válvulas de compuerta de 3"	1	\$ 290.598	\$ 290.598
3.5	Válvulas de compuerta de 2"	1	\$ 229.075	\$ 229.075
<b>4</b>	<b>MANO DE OBRA</b>			
4.1	Ingeniero residente	2	\$ 130.205	\$ 260.410
4.2	Oficiales	2	\$ 52.082	\$ 104.164
4.3	Ayudantes	2	\$ 26.041	\$ 52.082
<b>5</b>	<b>SERVICIO TÉCNICO</b>			
5.1	Servicio técnico especializado	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
<b>6</b>	<b>SOPORTERÍA Y CONSUMIBLES</b>			
6.1	Soportes	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
6.2	Consumibles	1	\$ 500.000	\$ 500.000
<b>Total</b>			\$	18.115.965

*Nota:* La tabla presenta los principales costos relacionados a la adquisición de la bomba y accesorios para su

instalación, esta representación fue elaborada de forma propia (Anzola & Colón, 2018)



De la Tabla 8 se observa que los costos de los equipos (sistema de bombeo) corresponden al 56,9% al total de la inversión, mientras el 43,1% corresponde al sistema de suministro de accesorios, transporte, mano de obra e instalación de la bomba usada como turbina.

#### **4.5.2. Parámetros de evaluación financiera**

Los parámetros económicos asumidos en la evaluación económica son:

- El periodo de vida del proyecto va en función de la operación, disponibilidad de la red y tanque de almacenamiento el Radar, sin embargo se considera 10 años.
- La inflación general promedio de los últimos 5 meses en Colombia es 4.44% (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2018).
- La tasa de rentabilidad deseada anual es 20% y la tasa de interés del crédito es de 20,5%.
- La depreciación del equipo es 20 años, aunque cada 5 años se realiza un recambio de los equipos del sistema de bombeo (Bomba y alternador).

Tabla 9.

*Estados de resultados para el proyecto BUTUS*

AÑO DE OPERACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VENTAS ANUALES	\$ 20.453.760	\$ 21.361.907	\$ 22.310.376	\$ 23.300.956	\$ 24.335.519	\$ 25.416.016	\$ 26.544.487	\$ 27.723.062	\$ 28.953.966	\$ 30.239.522
GASTOS DE OPERACIÓN										
Mantenimiento hidráulico y mecánico	\$ 726.798	\$ 759.068	\$ 792.771	\$ 827.970	\$ 864.732	\$ 903.126	\$ 943.224	\$ 985.104	\$ 1.028.842	\$ 1.074.523
Depreciación Maquinaria	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033
TOTAL GASTOS DE OPERACIÓN	\$ 1.241.831	\$ 1.274.101	\$ 1.307.803	\$ 1.343.002	\$ 1.379.764	\$ 1.418.158	\$ 1.458.257	\$ 1.500.136	\$ 1.543.875	\$ 1.589.555
UTILIDAD OPERACIONAL	\$ 19.211.929	\$ 20.087.806	\$ 21.002.572	\$ 21.957.954	\$ 22.955.755	\$ 23.997.858	\$ 25.086.230	\$ 26.222.926	\$ 27.410.091	\$ 28.649.967
Gasto financiero	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
OTROS INGRESOS Y EGRESOS	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$ 19.211.929	\$ 20.087.806	\$ 21.002.572	\$ 21.957.954	\$ 22.955.755	\$ 23.997.858	\$ 25.086.230	\$ 26.222.926	\$ 27.410.091	\$ 28.649.967
Provisión para impuestos	\$ 6.339.937	\$ 6.628.976	\$ 6.930.849	\$ 7.246.125	\$ 7.575.399	\$ 7.919.293	\$ 8.278.456	\$ 8.653.566	\$ 9.045.330	\$ 9.454.489
UTILIDAD NETA ANUAL	\$ 12.871.993	\$ 13.458.830	\$ 14.071.724	\$ 14.711.829	\$ 15.380.356	\$ 16.078.565	\$ 16.807.774	\$ 17.569.360	\$ 18.364.761	\$ 19.195.478
AÑO DE OPERACIÓN	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
VENTAS ANUALES	\$ 31.582.157	\$ 32.984.405	\$ 34.448.912	\$ 35.978.444	\$ 37.575.887	\$ 39.244.256	\$ 40.986.701	\$ 42.806.511	\$ 44.707.120	\$ 46.692.116
GASTOS DE OPERACIÓN										
Mantenimiento hidráulico y mecánico	\$ 1.122.232	\$ 1.172.059	\$ 1.224.098	\$ 1.278.448	\$ 1.335.211	\$ 1.394.494	\$ 1.456.410	\$ 1.521.075	\$ 1.588.610	\$ 1.659.145
Depreciación Maquinaria	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033	\$ 515.033
TOTAL GASTOS DE OPERACIÓN	\$ 1.637.264	\$ 1.687.091	\$ 1.739.131	\$ 1.793.481	\$ 1.850.244	\$ 1.909.527	\$ 1.971.443	\$ 2.036.107	\$ 2.103.643	\$ 2.174.177
UTILIDAD OPERACIONAL	\$ 29.944.893	\$ 31.297.314	\$ 32.709.782	\$ 34.184.963	\$ 35.725.643	\$ 37.334.729	\$ 39.015.259	\$ 40.770.404	\$ 42.603.477	\$ 44.517.939
Gasto financiero	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
OTROS INGRESOS Y EGRESOS	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$ 29.944.893	\$ 31.297.314	\$ 32.709.782	\$ 34.184.963	\$ 35.725.643	\$ 37.334.729	\$ 39.015.259	\$ 40.770.404	\$ 42.603.477	\$ 44.517.939
Provisión para impuestos	\$ 9.881.815	\$ 10.328.113	\$ 10.794.228	\$ 11.281.038	\$ 11.789.462	\$ 12.320.461	\$ 12.875.035	\$ 13.454.233	\$ 14.059.147	\$ 14.690.920
UTILIDAD NETA ANUAL	\$ 20.063.078	\$ 20.969.200	\$ 21.915.554	\$ 22.903.926	\$ 23.936.181	\$ 25.014.269	\$ 26.140.223	\$ 27.316.170	\$ 28.544.330	\$ 29.827.019

*Nota:* La tabla presenta los estados de resultados del proyecto, por la implementación de la bomba usada como turbina en la línea de conducción el Radar- Usiacurí, esta representación fue elaborada de forma propia

Tabla 10.

Flujos de cajas implementación del proyecto BUTUS

AÑO DE OPERACIÓN	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
Ingresos Operacionales	\$ -	\$ 20.453.760	\$ 21.361.907	\$ 22.310.376	\$ 23.300.956	\$ 24.335.519	\$ 25.416.016	\$ 26.544.487	\$ 27.723.062	\$ 28.953.966	\$ 30.239.522
TOTAL INGRESOS	\$ -	\$ 20.453.760	\$ 21.361.907	\$ 22.310.376	\$ 23.300.956	\$ 24.335.519	\$ 25.416.016	\$ 26.544.487	\$ 27.723.062	\$ 28.953.966	\$ 30.239.522
EGRESOS											
Inversión	\$ 18.115.965	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 15.989.030	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 19.868.104
Mantenimiento hidráulico y eléctrico	\$ -	\$ 726.798	\$ 759.068	\$ 792.771	\$ 827.970	\$ 864.732	\$ 903.126	\$ 943.224	\$ 985.104	\$ 1.028.842	\$ 1.074.523
Gasto financiero	\$ -	\$ 6.339.937	\$ 6.628.976	\$ 6.930.849	\$ 7.246.125	\$ 7.575.399	\$ 7.919.293	\$ 8.278.456	\$ 8.653.566	\$ 9.045.330	\$ 9.454.489
Pago de Impuestos	\$ -	\$ 6.339.937	\$ 6.628.976	\$ 6.930.849	\$ 7.246.125	\$ 7.575.399	\$ 7.919.293	\$ 8.278.456	\$ 8.653.566	\$ 9.045.330	\$ 9.454.489
TOTAL EGRESOS	\$ 18.115.965	\$ 7.066.735	\$ 7.388.044	\$ 7.723.620	\$ 8.074.095	\$ 24.429.160	\$ 8.822.419	\$ 9.221.680	\$ 9.638.669	\$ 10.074.172	\$ 30.397.116
FLUJO CAJA LIBRE	\$ (18.115.965)	\$ 13.387.025	\$ 13.973.863	\$ 14.586.756	\$ 15.226.862	\$ (93.642)	\$ 16.593.597	\$ 17.322.807	\$ 18.084.393	\$ 18.879.794	\$ (157.594)
AÑO DE OPERACIÓN	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
INGRESOS											
Ingresos Operacionales	\$ 31.582.157	\$ 32.984.405	\$ 34.448.912	\$ 35.978.444	\$ 37.575.887	\$ 39.244.256	\$ 40.986.701	\$ 42.806.511	\$ 44.707.120	\$ 46.692.116	
TOTAL INGRESOS	\$ 31.582.157	\$ 32.984.405	\$ 34.448.912	\$ 35.978.444	\$ 37.575.887	\$ 39.244.256	\$ 40.986.701	\$ 42.806.511	\$ 44.707.120	\$ 46.692.116	
EGRESOS											
Inversión inicial	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 24.688.275	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 30.677.860	
Mantenimiento hidráulico y eléctrico	\$ 1.122.232	\$ 1.172.059	\$ 1.224.098	\$ 1.278.448	\$ 1.335.211	\$ 1.394.494	\$ 1.456.410	\$ 1.521.075	\$ 1.588.610	\$ 1.659.145	
Gasto financiero	\$ 9.881.815	\$ 10.328.113	\$ 10.794.228	\$ 11.281.038	\$ 11.789.462	\$ 12.320.461	\$ 12.875.035	\$ 13.454.233	\$ 14.059.147	\$ 14.690.920	
Pago de Impuestos	\$ 9.881.815	\$ 10.328.113	\$ 10.794.228	\$ 11.281.038	\$ 11.789.462	\$ 12.320.461	\$ 12.875.035	\$ 13.454.233	\$ 14.059.147	\$ 14.690.920	
TOTAL EGRESOS	\$ 11.004.046	\$ 11.500.172	\$ 12.018.326	\$ 12.559.486	\$ 37.812.948	\$ 13.714.955	\$ 14.331.445	\$ 14.975.308	\$ 15.647.758	\$ 47.027.924	
FLUJO CAJA LIBRE	\$ 20.578.111	\$ 21.484.233	\$ 22.430.586	\$ 23.418.958	\$ (237.061)	\$ 25.529.301	\$ 26.655.256	\$ 27.831.203	\$ 29.059.362	\$ (335.808)	

Nota: La tabla presenta los flujos de cajas del proyecto, por la implementación de la bomba usada como turbina en la línea de conducción el Radar- Usiacurí, esta representación fue elaborada de forma propia

(Anzola & Colón, 2018)

Las Tabla 9 y Tabla 10 muestran el estado de resultados y flujo de caja del proyecto de implementación de la bomba usada como turbina en la Línea de conducción tanque el Radar- Usiacurí. Los ingresos generados por este proyecto corresponden al ahorro de energía ocasionado por la utilización de la energía generada por la bomba usada como turbina para suplir parte de la demanda energética de Triple A en el sector. Bajo este escenario se observa que el proyecto arroja utilidades superiores entre 10 y 15 millones de pesos en los primeros 5 años, utilidades entre 15 y 20 millones entre los años 5 y 10, y por encima de 20 millones en los años siguientes. Cabe anotar que en los años 5, 10 y 15 las utilidades son negativas indicando pérdidas. Ello se debe principalmente a que se contempla en esos años un cambio del sistema bomba-generador, lo cual implica una inversión considerable y registrada en la tabla de los flujos de caja.

Para el cálculo de la energía ahorrada anualmente, se tomó como base un valor de 64,320 kWh por año y un costo de \$318 por kWh, este precio es el que cancela la empresa prestadora de servicio público de Barranquilla en el municipio de Tubará. El valor de la energía generada anualmente tiene en cuenta una eficiencia del generador del 80% y un tiempo de 30 días para mantenimiento.

En vista de la situación descrita en el párrafo anterior, se observa que el flujo de caja es positivo, indicando un ahorro anual progresivo en cada año de operación. Por su parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR) para un periodo de duración del proyecto de 20 años es de 74,1%. Este valor de TIR es un valor muy competitivo, aunque la viabilidad financiera del proyecto dependerá de la tasa mínima o tasa de corte de la empresa Triple A S.A. E.S.P.

Asi mismo, el valor presente neto (VPN) calculado para 20 años es de \$50.334.717 siendo mayor a uno (1), lo que significa que los beneficios superan los costos y se tendrán beneficios netos o los beneficios provenientes del proyecto superan a los provenientes de las inversiones alternativas, dando lugar a que se acepte el proyecto.

## 5. Conclusiones

Con los resultados obtenidos del análisis hidráulico de la línea de conducción Tanque el radar – Usiacurí, se demuestra que la tubería es apta para la implementación del sistema BUTUS, las condiciones topográficas que permiten que el fluido sea impulsado por gravedad y la sobrepresión que se presenta en los puntos donde se encuentran instaladas las VRP, permite que si uno de estos accesorios (VRP1) se reemplace por una BUTUS, se pueda generar energía para accionar los dispositivos de telemetría de la empresa prestadora de servicio público del departamento del Atlántico, además de controlar el paso del flujo y contribuir a mejorar la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable al municipio de Usiacurí, Atlántico.

En base a la investigación realizada y a los autores estudiados, se selecciona las bombas centrífugas como el tipo de bomba que puede ser operada en condiciones de turbina, se aclara que para que su funcionamiento sea el apropiado, se debe realizar una revisión de las características de la bomba.

A partir de los parámetros hidráulicos calculados de la tubería de conducción que va desde el Tanque el Radar hasta Usiacurí, Atlántico (perdidas por fricción, altura de elevación, potencia de salida, caudal y presión aguas arriba y debajo de la VRP1) se realiza el diseño del impulsor que debe tener la bomba centrífuga para que alcance su mayor punto de operación, logrando una eficiencia de 37,5%.

Se estima que la potencia promedio que puede alcanzar la BUTUS es de 11 kW/día y la energía generada promedio puede ser de 240 kWh/día. Para el funcionamiento de un equipo de telemetría (Macromedidor, transmisores de presión y nivel, logger y puntos de

inspección remota (PIR) se requiere de 500 W/día lo que demuestra que si se puede aprovechar la sobrepresión presente en la tubería como fuente no convencional de energía renovable. Sin embargo se debe evaluar el desarrollo de nuevos proyectos, orientados a servicios donde se requiera esta disposición energética.

Las empresas de acueducto y demás entes públicos o privados que promuevan e inviertan en el desarrollo de la producción y utilización de energía, tendrán beneficios de tipo económico como reducir el porcentaje del valor total a pagar de renta a un 50% anualmente. Además, proyectos como las BUTUS contribuyen al Mecanismo de Desarrollo Limpio, permitiendo a países en desarrollo como Colombia cumplir con sus obligaciones de reducción de las emisiones de gases efecto invernadero.

Por último, se puede decir que aunque las bombas usadas como turbinas pueden presentar inconvenientes en su desempeño frente a las turbinas convencionales, la optimización de estos es mucho más factible que la adquisición de una turbina para ser operada en áreas rurales como el municipio de Usiacurí, Atlántico.

## 6. Recomendaciones

- Realizar simulación en software CFD para la bomba usada como turbina, con el diseño del impulsor propuesto en el presente proyecto de grado.
- Realizar pruebas experimentales en banco de pruebas, con una bomba centrífuga trabajando en modo inverso (modo turbina)
- Se recomienda a próximos investigadores, realizar un análisis del potencial energético recuperable en las redes de conducción o líneas de distribución operadas por la empresa prestadora de servicio de agua potable de Barranquilla, utilizando bombas como turbinas (BUTUS).
- Implementar este tipo de proyectos en zonas rurales donde exista deficiencia de nivel energético y sobrepresiones en la red de conducción de agua potable.
- Se recomienda a próximos investigadores seguir con el estudio y ampliación de los campos y usos donde se pueda aprovechar este potencial energético recuperable, empleando bombas usadas como turbinas (BUTUS).



### Referencias

- Agarwal, T. (2012). Review of Pump as Turbine (PAT) for Micro-Hydropower. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* (pp. 163-169). Roorkee, India : Indian Institute of Technology.
- Alcaldía municipal de Tubará - Atlántico . (2018, Julio 23). Retrieved from <http://www.tubara-atlantico.gov.co/>
- Alcaldía municipal de Usiacurí - Atlántico . (2018, Julio 23). Retrieved from <http://www.usiacuri-atlantico.gov.co/>
- Anzola, A., & Colón, K. (2018).
- Arriaga, M. (2010). Pump as turbine – A pico-hydro alternative in Lao People’s Democratic Republic. *Renewable Energy*, 1109-1115.
- Azlan Ismail, M., Othman, A. K., Islam, S., & Zen, H. (2014). End Suction Centrifugal Pump Operating in Turbine Mode for Microhydro Applications. *Hindawi Publishing Corporation*, 1-7.
- Carter, I. J. (1982). *Bombas centrífugas selección, operación y mantenimiento* . México: CIA. Editorial Continental, S.A. de C.V. .
- De Marchis, M., Fontanazza, C., Freni, G., Messineo, A., Milici, B., Napoli, E., . . . Scopa, A. (2014). Energy recovery in water distribution networks. Implementation of pumps as turbine in a dynamic numerical model. *Procedia Engineering*, IX, 1227-1234.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018, 07 24). *Acerca de nosotros: DANE*. Retrieved from Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE): <https://www.dane.gov.co>

- Derakhshan, S., & Nourbakhsh, A. (2008). Experimental Study of Characteristic Curves of centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds. *Experimental Thermal and Fluid Science*, (32), 800-807.
- Díez, P. F. (2000). *Turbinas Hidráulicas*. Cantabria, España: Universidad de Cantabria.
- Fernández Díez, P. (2000). *Turbinas Hidráulicas*. Cantabria, España: Universidad de Cantabria.
- FH SOLAR & LED IBERICA S.A.S. . (2018, 07 24). *Acerca de nosotros: FH SOLAR & LED IBERICA S.A.S.* Retrieved from FH SOLAR & LED IBERICA S.A.S.:  
<https://fhsolarled.com/>
- Garay, P. N. (1990). Using pumps as hydroturbines . *Hosey y Associates Engineering company* , 52-61.
- Girón, I. E. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*. Guatemala .
- Gobernación del Atlántico. (2018, 07 17). *Acerca de nosotros: Gobernación del Atlántico*. Retrieved from Gobernación del Atlántico: <http://www.atlantico.gov.co>
- Huang, S., Qiu, G., Su, X., Chen, J., & Zou, W. (2017). Performance prediction of a centrifugal pump as turbine using rotor-volute matching principle. *Renewable Energy*, 64-71.
- Hyypiä, J. (2016). *Hydraulic energy recovery by replacing a control valve with a centrifugal pump used as a turbine*. Finlandia.
- Ignacio Gómez IHM S.A.S. (2018, 06 24). *Acerca de nosotros: Ignacio Gómez IHM*. Retrieved from Ignacio Gómez IHM: <http://www.igihm.com>
- Ingeniería de Fluidos. (2018, 07 17). *Acerca de nosotros: Ingeniería de Fluidos*. Retrieved from Ingeniería de Fluidos: <https://www.ingenieriadefluidos.com/>

Kallappa, C., & Salunke. (2015). Desing of Monoblock Centrifugal Pump Impeller.

*International Journal Of Mechanical Engineering And Information Technology* (pp. 1074-1078). India: IGM Publication.

Kittredge, C., & Thoma, D. (1931, Junio 2). Centrifugal Pumps Operated Under Abnormal Conditions. *Power*, 881-884.

KNAPP, R. T. (1937). Complete Characteristics. of Centrifugal Pumps and Their Use in the Prediction of Transient Behavior. *American Society of Mechanical Engineers*, 684-684.

Krivchenko, G. (1994). *Hydraulic Machines: Turbines and Pumps*. USA, Boca Raton: Lewis.

KSB SE & Co. (2018, 07 23). *Acerca de nosotros: KSB SE & Co*. Retrieved from KSB SE & Co Web site: <https://www.ksb.com/ksb-en/>

McClaskey B, e. a. (1976). Can You Justify Hydraulic Turbines? *Hydrocarbon Processing*, 163-169.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2018, Julio 16). *Acerca de nosotros: Ministerio de Ambiente*. Retrieved from Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia: <http://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de vivienda, c. y. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. TITULO B Sistemas de acueducto*. Bogota: Ministerio de desarrollo económico .

Moreno, T. (2017). *Tuberia Moreno Comercializadora Casmo S.A de C.V. .* Retrieved Mayo 14, 2018, from Tubería de polietileno de Alta Densidad PEAD : <http://www.tuberiamoreno.com/productos/hidraulico/tuberia-de-polietileno-de-alta-densidad-pead-4608-4710-rd-7-0-rd-7-3-rd-9-rd-11-dr-13-5-rd-15-5-rd-17-rd-21-rd-26-rd-32-5-rd-41>

- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* . México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V. .
- Nygren, L. (2016). *Variable-Speed Centrifugal Pump as Turbine for Hydraulic Power Recovery*.  
USA: Lappeenranta University of Technology.
- Orchard, B. (2009, Noviembre 06). *World pumps*. Retrieved from <http://www.worldpumps.com/>
- PAVCO. (2014). Tubosistemas de presión PVC. *Manual técnico de PAVCO*, 1 - 21.
- PAVCO. (2014). Tubosistemas PEAD para conducción de agua potable ACUAFLEX. *Manual técnico de PAVCO* , 1 - 41.
- PAVCO. (2015). GRP poliéster reforzado con fibra de vidrio . *Manual técnico PAVCO* , 1 - 83.
- Promateriales. (n.d.). Tuberías de materiales plásticos. La evolución de los materiales.  
*Promateriales de construcción y arquitectura actual* , 43 - 52.
- Rocha Felices, A. (2007). *hidráulica de tuberías y canales*. Lima: Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Nacional de Ingeniería Av. Túpac Amaru 210 Rímac.
- Rossia, M., Righettia, M., & Renzia, M. (2016). Pump-as-Turbine for energy recovery  
applications: the case study of an aqueduct. *Energy Procedia*, 1207-1214.
- Sharma, K. (1985). *Small Hydroelectric Project-Use of Centrifugal Pumps as Turbines*.  
Bangalore, India: Technical Report, Kirloskar, Electric Co.
- Stepanoff, A. J. (1997). *Centrifugal and Axial Flow Pumps, Design and Applications*. New York,  
USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Thode HW, A. D. (1984). Typical applications of induction generators and control system  
considerations. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1A-20.
- Triple A S.A E.S.P. (2017). *Informe de sostenibilidad 2017*. Barranquilla : Prómima S.A.S.
- Tsegaye, B. (2015). *Performance analysis of centrifugal pump operating as turbine for identified  
micro/pico hydro site of Ethiopia*. Ethiopia.

Viejo Zubicaray, M. (2000). *Bombas. Teoría, Diseño y Aplicaciones*. México: Limusa.

Williams, A. (1994). The Turbine Performance of Centrifugal Pumps: A Comparison of Prediction Methods. *Journal of Power and Energy*, 208, 59-66.

Williams, A. (1996). Pumps As Turbines for Low Cost Micro Hydro Power. *Renewable Energy*, IX, 1227-1234.

XM. (2017, 07 16). *Informe integral de gestión sostenible* . Medellin, Colombia . Retrieved from <http://www.xm.com.co/>

### Anexos

**Anexo 1** Registro de presiones aguas arriba y aguas abajo en válvulas reguladoras de presión instaladas en la línea de conducción El radar – Usiacurí

Válvula Reguladora de Presión 1			Válvula Reguladora de Presión 2		Válvula Reguladora de Presión 3	
Calle 16 Carrera 4A, Tubará			Peronilla		Casa Blanca	
Fecha y hora de registro	Presión aguas arriba (psi)	Presión aguas abajo (psi)	Presión aguas arriba (psi)	Presión aguas abajo (psi)	Presión aguas arriba (psi)	Presión aguas abajo (psi)
09/04/2018 0:15	68,54	48,77	50,91	49,77	83,89	78,35
09/04/2018 0:30	72,23	48,92	49,77	48,49	83,18	77,50
09/04/2018 0:45	75,51	48,77	48,63	47,35	82,47	77,07
09/04/2018 1:00	77,21	48,92	47,78	46,50	82,19	76,64
09/04/2018 1:15	80,34	49,20	47,35	46,07	81,90	76,64
09/04/2018 1:30	82,33	49,48	47,21	45,93	82,47	77,07
09/04/2018 1:45	83,61	49,48	47,64	46,36	84,18	78,92
09/04/2018 2:00	84,32	49,63	47,92	46,78	85,32	79,91
09/04/2018 2:15	85,03	49,48	48,20	47,07	86,31	80,91
09/04/2018 2:30	85,60	49,06	48,92	47,78	87,31	82,05
09/04/2018 2:45	85,89	49,20	50,48	49,34	89,44	84,04
09/04/2018 3:00	86,17	49,48	52,47	51,47	91,86	86,45
09/04/2018 3:15	86,03	49,20	54,75	53,75	94,13	88,45
09/04/2018 3:30	86,03	49,06	56,88	55,88	95,98	90,44
09/04/2018 3:45	86,03	49,48	58,73	57,59	97,55	91,86
09/04/2018 4:00	85,89	49,20	59,72	58,87	98,97	93,42
09/04/2018 4:15	86,17	48,92	59,86	58,87	99,68	94,27
09/04/2018 4:30	86,45	49,48	59,86	58,87	100,53	95,13
09/04/2018 4:45	86,60	49,06	59,58	58,58	100,96	95,55
09/04/2018 5:00	86,45	49,48	59,15	58,16	100,82	95,55
09/04/2018 5:15	86,17	49,48	58,44	57,45	100,10	94,42
09/04/2018 5:30	85,74	49,20	58,02	57,02	99,82	94,13
09/04/2018 5:45	85,46	49,34	57,73	56,74	99,39	93,56
09/04/2018 6:00	84,89	49,20	57,02	55,88	98,11	92,57
09/04/2018 6:15	85,03	48,92	57,59	56,59	99,68	93,85
09/04/2018 6:30	85,03	49,20	58,02	56,88	100,25	94,42
09/04/2018 6:45	84,89	49,20	57,73	56,74	100,25	94,56
09/04/2018 7:00	84,89	49,06	57,73	56,74	100,39	94,70
09/04/2018 7:15	84,75	48,92	57,59	56,45	100,39	94,56
09/04/2018 7:30	84,61	48,49	57,30	56,17	99,82	94,42

09/04/2018 7:45	84,46	49,20	57,16	56,17	99,68	94,13
09/04/2018 8:00	84,32	48,63	57,02	56,02	99,25	93,71
09/04/2018 8:15	84,18	48,77	56,74	55,60	98,40	92,71
09/04/2018 8:30	83,89	48,92	56,31	55,17	97,97	92,43
09/04/2018 8:45	83,61	49,20	56,17	55,03	97,55	91,86
09/04/2018 9:00	83,47	48,77	56,02	54,75	97,26	91,57
09/04/2018 9:15	83,47	48,35	56,45	55,31	98,11	92,43
09/04/2018 9:30	81,19	48,35	55,88	54,75	97,40	91,72
09/04/2018 9:45	56,88	43,37	49,77	48,63	92,28	86,88
09/04/2018 10:00	28,44	20,33	30,86	29,43	78,92	73,80
09/04/2018 10:15	17,35	10,10	14,08	12,09	67,97	63,42
09/04/2018 10:30	16,21	9,10	12,80	10,95	61,43	56,88
09/04/2018 10:45	16,21	9,10	12,80	10,81	57,73	53,32
09/04/2018 11:00	16,64	9,53	13,08	11,09	57,16	52,75
09/04/2018 11:15	17,06	9,95	13,37	11,38	57,16	53,04
09/04/2018 11:30	18,63	11,52	14,36	12,51	58,44	54,03
09/04/2018 11:45	19,77	12,80	16,21	14,65	61,29	56,74
09/04/2018 12:00	22,75	15,78	20,19	18,63	65,13	60,43
09/04/2018 12:15	28,44	21,05	27,44	25,88	72,52	67,40
09/04/2018 12:30	33,56	26,31	33,42	31,85	77,92	72,95
09/04/2018 12:45	35,26	28,01	36,69	35,26	80,91	75,79
09/04/2018 13:00	37,11	29,86	39,25	37,82	83,47	78,06
09/04/2018 13:15	40,53	32,99	42,09	40,67	85,32	80,06
09/04/2018 13:30	41,66	34,27	42,23	40,95	85,46	80,20
09/04/2018 13:45	38,39	31,00	39,81	38,54	83,61	78,21
09/04/2018 14:00	39,39	31,57	39,39	37,97	82,90	77,64
09/04/2018 14:15	39,53	31,85	39,25	37,82	83,18	77,78
09/04/2018 14:30	38,25	30,71	37,40	35,98	81,76	76,36
09/04/2018 14:45	40,38	32,56	38,96	37,54	83,04	77,64
09/04/2018 15:00	44,51	36,83	42,37	40,95	85,46	79,91
09/04/2018 15:15	46,07	38,25	43,94	42,66	86,74	81,48
09/04/2018 15:30	47,35	39,81	45,36	43,94	88,30	82,76
09/04/2018 15:45	48,35	40,38	46,21	44,93	89,58	84,04
09/04/2018 16:00	48,35	40,67	45,64	44,36	89,44	83,89
09/04/2018 16:15	51,05	43,37	47,35	46,21	90,72	85,17
09/04/2018 16:30	52,19	44,36	47,92	46,64	91,15	85,46
09/04/2018 16:45	52,19	44,22	47,92	46,64	91,15	85,46
09/04/2018 17:00	53,18	45,36	49,06	47,92	92,43	86,74
09/04/2018 17:15	52,90	45,08	48,49	47,21	91,72	86,17
09/04/2018 17:30	50,48	42,80	47,92	46,64	92,57	87,02
09/04/2018 17:45	53,75	45,79	50,76	49,63	94,56	89,01

09/04/2018 18:00	50,62	43,09	47,64	46,36	92,00	86,45
09/04/2018 18:15	50,48	42,66	48,63	47,35	93,00	87,17
09/04/2018 18:30	55,17	47,07	52,33	51,05	95,70	89,87
09/04/2018 18:45	59,01	48,06	53,89	52,90	97,26	91,57
09/04/2018 19:00	63,13	48,49	55,03	53,75	97,97	92,43
09/04/2018 19:15	67,26	48,77	54,89	53,75	97,55	91,86
09/04/2018 19:30	69,68	48,63	55,60	54,46	98,97	93,28
09/04/2018 19:45	72,09	48,92	55,74	54,75	99,39	93,71
09/04/2018 20:00	74,51	48,77	55,88	54,89	99,82	94,27
09/04/2018 20:15	76,50	48,77	55,46	54,46	99,68	94,13
09/04/2018 20:30	78,35	48,77	55,46	54,32	99,82	94,13
09/04/2018 20:45	79,63	49,20	55,46	54,32	99,96	94,42
09/04/2018 21:00	80,62	49,48	55,74	54,75	100,67	95,27
09/04/2018 21:15	81,34	49,06	56,74	55,74	101,67	96,41
09/04/2018 21:30	81,90	49,06	58,16	57,02	103,23	97,55
09/04/2018 21:45	82,47	49,20	60,01	59,01	105,22	99,82
09/04/2018 22:00	83,33	49,20	61,00	60,15	106,79	101,38
09/04/2018 22:15	84,18	49,20	61,85	60,86	108,21	103,09
09/04/2018 22:30	85,03	49,63	62,57	61,71	110,06	104,80
09/04/2018 22:45	86,03	49,48	63,99	62,99	113,19	107,50
09/04/2018 23:00	87,02	49,20	65,27	64,41	115,89	110,49
09/04/2018 23:15	87,88	49,20	66,26	65,41	117,88	112,19
09/04/2018 23:30	88,30	49,63	66,55	65,69	118,45	113,04
09/04/2018 23:45	88,73	49,77	66,97	66,12	119,30	113,76
10/04/2018 0:00	89,16	49,20	67,12	66,26	119,73	114,04
10/04/2018 0:15	89,58	49,63	67,40	66,55	120,15	114,61
10/04/2018 0:30	89,72	49,77	67,40	66,55	120,15	114,32
10/04/2018 0:45	89,72	49,20	67,26	66,55	120,01	114,32
10/04/2018 1:00	89,87	49,48	67,26	66,41	119,59	114,04
10/04/2018 1:15	89,87	49,48	66,97	66,26	119,44	113,90
10/04/2018 1:30	89,87	49,48	67,12	66,41	119,59	114,04
10/04/2018 1:45	90,01	49,63	66,97	66,41	119,44	113,76
10/04/2018 2:00	90,01	49,20	66,97	66,26	119,44	113,47
10/04/2018 2:15	90,15	49,48	66,97	65,98	118,87	113,19
10/04/2018 2:30	89,72	48,92	66,12	65,41	117,45	111,91
10/04/2018 2:45	89,87	49,91	66,41	65,55	118,02	112,19
10/04/2018 3:00	90,01	49,63	66,26	65,41	117,59	111,76
10/04/2018 3:15	89,87	49,48	65,69	64,98	116,60	110,91
10/04/2018 3:30	89,58	49,48	65,55	64,70	116,17	110,63
10/04/2018 3:45	89,58	49,48	64,70	63,85	114,18	108,49
10/04/2018 4:00	88,87	48,92	63,70	62,71	111,91	106,50



10/04/2018 4:15	88,02	48,92	62,28	61,29	109,21	103,66
10/04/2018 4:30	87,59	49,20	61,00	60,01	106,22	100,82
10/04/2018 4:45	87,17	49,20	60,29	59,30	104,94	99,54
10/04/2018 5:00	87,02	49,06	59,72	58,73	103,38	98,11
10/04/2018 5:15	86,17	49,20	58,02	57,02	100,10	94,56
10/04/2018 5:30	85,60	49,06	56,31	55,31	96,69	90,86
10/04/2018 5:45	84,61	48,06	54,60	53,47	93,00	87,45
10/04/2018 6:00	83,75	48,49	53,18	52,19	90,01	84,18
10/04/2018 6:15	83,47	48,77	52,75	51,76	89,72	83,89
10/04/2018 6:30	83,75	48,06	53,61	52,61	91,43	85,74
10/04/2018 6:45	83,89	48,49	54,03	53,18	91,86	86,17
10/04/2018 7:00	84,04	48,49	54,03	53,04	92,14	86,45
10/04/2018 7:15	83,75	48,49	54,03	52,75	92,00	86,45
10/04/2018 7:30	84,04	48,92	54,18	53,18	92,71	87,17
10/04/2018 7:45	83,75	48,77	53,89	52,90	92,00	86,45
10/04/2018 8:00	83,47	48,35	54,18	53,04	92,43	87,02
10/04/2018 8:15	84,04	48,77	54,46	53,61	93,00	87,59
10/04/2018 8:30	84,04	48,63	54,60	53,75	93,56	87,88
10/04/2018 8:45	84,04	48,77	54,89	53,89	93,99	88,59
10/04/2018 9:00	84,04	48,77	54,89	53,75	93,71	88,45
10/04/2018 9:15	84,04	48,49	54,75	53,75	93,14	87,73
10/04/2018 9:30	83,75	48,49	54,18	53,18	92,28	87,17
10/04/2018 9:45	84,04	48,35	54,89	53,89	94,27	89,01
10/04/2018 10:00	84,46	48,35	55,74	54,60	95,70	90,72
10/04/2018 10:15	84,46	48,77	55,74	54,60	95,84	90,72
10/04/2018 10:30	84,32	48,49	55,74	54,60	95,70	90,72
10/04/2018 10:45	84,61	48,92	56,17	55,17	96,83	91,86
10/04/2018 11:00	84,46	48,49	55,74	54,60	96,12	90,86
10/04/2018 11:15	84,61	48,77	56,45	55,60	97,83	92,71
10/04/2018 11:30	84,89	48,92	57,16	56,17	98,83	93,85
10/04/2018 11:45	85,03	48,49	56,74	55,74	98,11	92,85
10/04/2018 12:00	85,03	48,77	57,45	56,31	100,25	95,13
10/04/2018 12:15	86,74	49,20	61,85	61,00	110,49	105,37
10/04/2018 12:30	88,73	49,34	64,56	63,70	114,89	109,77
10/04/2018 12:45	88,59	49,48	64,13	63,28	114,32	109,49
10/04/2018 13:00	89,30	49,34	64,84	63,85	115,60	110,77
10/04/2018 13:15	88,87	49,48	64,41	63,56	114,75	109,92
10/04/2018 13:30	88,87	49,48	63,99	63,13	113,90	108,78
10/04/2018 13:45	88,73	49,34	64,27	63,28	114,32	109,21
10/04/2018 14:00	89,01	49,34	64,70	63,85	115,46	110,34
10/04/2018 14:15	89,16	49,63	64,98	64,13	115,89	110,91

10/04/2018 14:30	89,16	49,20	64,98	64,13	115,18	110,06
10/04/2018 14:45	89,16	49,77	64,70	63,99	115,18	110,06
10/04/2018 15:00	89,30	49,63	65,27	64,56	116,03	111,05
10/04/2018 15:15	89,44	49,20	65,69	64,84	116,74	111,62
10/04/2018 15:30	89,87	49,20	65,84	65,13	117,17	112,05
10/04/2018 15:45	89,87	49,63	64,70	63,99	113,90	108,64
10/04/2018 16:00	87,59	49,06	60,72	59,72	106,22	101,24
10/04/2018 16:15	87,17	49,20	59,86	58,87	103,52	98,54
10/04/2018 16:30	84,61	48,77	53,89	52,90	91,86	86,45
10/04/2018 16:45	83,89	48,35	53,61	52,61	91,00	85,60
10/04/2018 17:00	83,89	48,63	53,89	52,75	91,57	86,03
10/04/2018 17:15	84,04	48,35	53,61	52,61	91,43	86,03
10/04/2018 17:30	83,89	48,49	53,61	52,61	90,86	85,74
10/04/2018 17:45	83,89	48,49	53,61	52,61	91,15	85,46
10/04/2018 18:00	83,89	48,77	54,18	53,04	92,57	87,17
10/04/2018 18:15	84,46	48,63	54,60	53,75	93,14	87,88
10/04/2018 18:30	84,46	48,92	54,89	53,89	93,71	88,45
10/04/2018 18:45	84,61	48,92	55,46	54,46	94,70	89,44
10/04/2018 19:00	84,89	48,77	56,02	55,03	95,70	90,44
10/04/2018 19:15	84,89	49,06	56,45	55,46	96,55	91,72
10/04/2018 19:30	84,89	48,35	56,88	55,88	97,40	92,14
10/04/2018 19:45	85,03	49,20	57,16	56,17	98,26	93,14
10/04/2018 20:00	84,89	48,92	57,45	56,45	98,68	93,71
10/04/2018 20:15	84,89	48,92	57,73	56,88	99,25	94,13
10/04/2018 20:30	84,61	49,20	57,87	56,88	99,68	94,70
10/04/2018 20:45	84,46	48,77	58,30	57,45	100,53	95,55
10/04/2018 21:00	84,61	48,77	58,58	57,73	101,38	96,41
10/04/2018 21:15	85,03	48,63	59,58	58,73	103,23	98,26
10/04/2018 21:30	85,60	48,92	60,43	59,44	104,94	100,10
10/04/2018 21:45	85,89	49,34	61,00	60,29	105,93	101,10
10/04/2018 22:00	86,03	48,92	60,72	59,86	105,22	100,39
10/04/2018 22:15	86,17	49,20	61,43	60,58	107,21	102,38
10/04/2018 22:30	86,45	48,92	61,71	61,00	107,64	102,52
10/04/2018 22:45	86,74	49,63	62,28	61,57	108,78	103,80
10/04/2018 23:00	87,31	49,34	62,99	62,28	110,49	105,65
10/04/2018 23:15	87,31	49,20	63,28	62,57	111,05	106,08
10/04/2018 23:30	87,59	49,20	63,56	62,71	111,20	106,36
10/04/2018 23:45	87,73	49,48	63,42	62,71	111,20	106,36
11/04/2018 0:00	87,59	49,34	63,56	62,71	111,62	106,50
11/04/2018 0:15	87,88	49,63	63,56	62,85	111,62	106,79
11/04/2018 0:30	87,88	49,34	63,70	62,85	111,91	106,93

11/04/2018 0:45	88,02	49,63	63,70	62,99	111,91	107,07
11/04/2018 1:00	88,30	49,20	63,70	62,99	112,05	106,93
11/04/2018 1:15	88,16	49,48	63,56	62,99	111,76	106,79
11/04/2018 1:30	88,30	49,20	63,70	62,99	111,91	107,07
11/04/2018 1:45	88,16	49,63	63,56	62,85	111,62	106,79
11/04/2018 2:00	88,30	49,34	63,56	62,85	111,76	106,93
11/04/2018 2:15	88,45	49,34	63,56	62,85	111,76	106,79
11/04/2018 2:30	88,30	49,63	63,56	62,85	111,48	106,79
11/04/2018 2:45	88,30	49,34	63,28	62,57	111,05	105,93
11/04/2018 3:00	88,30	49,48	62,99	62,14	110,20	105,37
11/04/2018 3:15	87,88	49,63	62,57	61,85	109,63	104,80
11/04/2018 3:30	88,02	49,34	62,42	61,71	109,21	104,37
11/04/2018 3:45	87,88	49,48	62,14	61,43	108,49	103,52
11/04/2018 4:00	87,31	49,63	61,43	60,58	106,50	101,95
11/04/2018 4:15	86,74	49,48	59,44	58,58	102,52	97,83
11/04/2018 4:30	86,17	49,06	59,30	58,44	102,38	97,40
11/04/2018 4:45	86,03	48,92	58,44	57,59	100,39	95,41
11/04/2018 5:00	85,60	49,06	57,45	56,59	98,54	93,42
11/04/2018 5:15	85,03	48,63	56,02	55,03	95,41	90,15
11/04/2018 5:30	84,46	48,49	55,03	54,03	93,14	88,02
11/04/2018 5:45	83,47	48,77	53,18	52,19	89,58	84,32
11/04/2018 6:00	83,33	48,49	53,04	52,04	89,58	84,46
11/04/2018 6:15	83,33	48,77	53,04	52,04	89,44	84,32
11/04/2018 6:30	83,33	48,49	53,32	52,33	90,15	85,03
11/04/2018 6:45	83,33	48,77	53,04	52,04	89,44	84,46
11/04/2018 7:00	82,90	48,06	52,90	51,90	89,30	84,18
11/04/2018 7:15	83,04	48,49	53,04	52,04	89,72	84,75
11/04/2018 7:30	83,33	48,35	53,32	52,33	90,29	85,32
11/04/2018 7:45	83,33	48,49	53,75	52,75	90,86	85,74
11/04/2018 8:00	83,47	48,63	53,89	52,90	91,15	86,31
11/04/2018 8:15	83,33	49,20	53,89	52,90	91,43	86,17
11/04/2018 8:30	83,61	48,77	54,18	53,18	91,86	86,88
11/04/2018 8:45	83,61	48,35	54,18	53,18	91,86	86,88
11/04/2018 9:00	83,47	48,77	54,03	52,90	91,86	86,74
11/04/2018 9:15	83,61	48,77	54,18	53,18	92,14	87,17
11/04/2018 9:30	83,75	48,63	54,32	53,32	92,43	87,45
11/04/2018 9:45	83,75	48,77	54,60	53,47	93,00	87,88
11/04/2018 10:00	83,89	48,92	54,46	53,47	92,85	87,88
11/04/2018 10:15	84,04	48,35	55,03	54,03	93,85	88,87
11/04/2018 10:30	84,04	48,49	55,46	54,32	94,56	89,58
11/04/2018 10:45	84,04	48,92	55,46	54,32	94,56	89,58

11/04/2018 11:00	84,04	49,20	55,03	54,03	94,27	89,01
11/04/2018 11:15	84,32	48,92	56,02	55,03	96,41	91,43
11/04/2018 11:30	84,61	48,92	57,16	56,17	98,40	93,42
11/04/2018 11:45	84,89	48,77	56,74	55,88	97,26	92,28
11/04/2018 12:00	84,46	48,77	56,02	55,03	95,98	91,00
11/04/2018 12:15	84,46	48,77	55,88	54,75	95,55	90,44
11/04/2018 12:30	84,32	48,35	56,17	55,17	96,12	91,15
11/04/2018 12:45	84,61	48,77	56,45	55,46	96,69	91,72
11/04/2018 13:00	84,89	48,63	56,88	55,88	97,55	92,71
11/04/2018 13:15	85,03	49,20	57,59	56,74	98,97	94,13
11/04/2018 13:30	85,17	49,06	58,02	57,16	99,82	95,13
11/04/2018 13:45	85,60	49,06	58,16	57,30	100,39	95,55
11/04/2018 14:00	85,89	49,20	58,44	57,59	100,67	95,98
11/04/2018 14:15	86,03	49,34	59,44	58,44	102,81	98,11
11/04/2018 14:30	86,45	49,63	60,15	59,30	104,51	99,54
11/04/2018 14:45	86,88	49,34	60,58	59,58	104,80	99,96
11/04/2018 15:00	86,74	49,48	59,86	58,87	103,23	98,40
11/04/2018 15:15	86,31	49,48	59,15	58,30	102,10	97,12
11/04/2018 15:30	86,17	49,20	58,73	57,87	100,96	96,12
11/04/2018 15:45	85,74	48,77	57,73	56,74	98,97	94,13
11/04/2018 16:00	85,46	48,92	58,02	57,16	99,82	94,84
11/04/2018 16:15	85,32	48,92	58,02	57,02	99,54	94,70
11/04/2018 16:30	84,89	49,20	58,16	57,16	100,25	95,41
11/04/2018 16:45	85,03	48,92	57,87	56,88	99,25	94,42
11/04/2018 17:00	84,89	48,77	57,73	56,88	99,68	94,70
11/04/2018 17:15	85,32	48,92	58,30	57,45	100,39	95,70
11/04/2018 17:30	84,89	49,06	58,44	57,59	100,39	95,41
11/04/2018 17:45	85,17	48,92	58,44	57,45	100,25	95,41
11/04/2018 18:00	84,89	49,06	58,44	57,59	100,53	95,55
11/04/2018 18:15	85,03	48,92	59,01	58,02	101,95	97,12
11/04/2018 18:30	85,60	49,48	60,01	59,15	103,94	99,25
11/04/2018 18:45	85,74	49,20	60,29	59,44	104,37	99,54
11/04/2018 19:00	85,60	49,20	60,01	59,01	103,38	98,54
11/04/2018 19:15	85,74	49,20	60,01	59,15	104,09	99,39
11/04/2018 19:30	86,31	49,20	61,00	60,01	105,51	100,82
11/04/2018 19:45	86,31	49,63	60,86	60,01	105,65	100,82
11/04/2018 20:00	86,45	49,34	61,29	60,43	106,22	101,53
11/04/2018 20:15	86,45	49,63	61,71	61,00	107,64	102,81
11/04/2018 20:30	86,60	49,48	62,00	61,29	108,35	103,52
11/04/2018 20:45	86,74	49,63	62,42	61,71	108,92	104,09
11/04/2018 21:00	86,17	49,48	62,28	61,57	108,49	103,66

11/04/2018 21:15	67,97	46,21	57,73	56,88	104,51	99,96
11/04/2018 21:30	21,33	14,50	25,17	24,17	78,63	74,51
11/04/2018 23:15	53,18	46,07	46,92	46,36	76,50	71,38
11/04/2018 23:30	58,73	48,06	53,61	53,18	87,73	82,47
11/04/2018 23:45	64,13	48,49	56,59	56,17	95,55	90,44
12/04/2018 0:00	69,11	48,63	58,58	58,16	101,53	96,41
12/04/2018 0:15	72,52	48,77	58,44	58,16	102,52	97,55
12/04/2018 0:30	74,65	49,20	57,73	57,45	102,52	97,69
12/04/2018 0:45	76,79	49,20	56,88	56,74	102,10	97,26
12/04/2018 1:00	79,06	49,20	56,45	56,02	101,95	97,12
12/04/2018 1:15	80,62	49,06	55,74	55,31	101,67	96,83
12/04/2018 1:30	82,62	49,20	55,31	54,89	101,67	96,83
12/04/2018 1:45	84,61	49,20	54,89	54,60	101,81	96,83
12/04/2018 2:00	86,17	49,06	54,75	54,46	101,67	96,83
12/04/2018 2:15	88,02	49,63	54,89	54,46	102,24	97,26
12/04/2018 2:30	88,87	49,63	54,89	54,60	102,38	97,26
12/04/2018 2:45	89,01	49,20	55,17	54,75	102,66	97,55
12/04/2018 3:00	89,01	49,63	56,31	55,88	103,80	98,68
12/04/2018 3:15	88,73	49,77	58,02	57,59	104,66	99,39
12/04/2018 3:30	88,30	49,48	60,29	59,86	107,07	101,67
12/04/2018 3:45	88,30	49,20	62,42	62,14	109,21	103,80
12/04/2018 4:00	87,88	49,48	63,28	62,85	109,21	103,94
12/04/2018 4:15	87,59	49,06	62,28	61,85	107,36	102,10
12/04/2018 4:30	87,02	49,20	61,43	61,00	106,36	100,82
12/04/2018 4:45	86,88	49,20	60,72	60,43	105,37	100,10
12/04/2018 5:00	86,74	49,34	60,43	60,01	104,94	99,39
12/04/2018 5:15	86,45	48,92	59,72	59,44	103,80	97,97
12/04/2018 5:30	86,03	49,20	58,73	58,16	101,10	95,55
12/04/2018 5:45	85,03	48,77	56,74	56,31	97,26	91,43
12/04/2018 6:00	84,61	49,20	55,88	55,31	95,70	89,72
12/04/2018 6:15	84,46	48,92	55,88	55,31	96,12	90,29
12/04/2018 6:30	84,61	48,77	56,45	56,02	97,40	91,57
12/04/2018 6:45	84,46	48,49	56,17	55,60	97,12	91,43
12/04/2018 7:00	84,46	48,20	56,45	55,88	97,40	91,86
12/04/2018 7:15	84,75	48,92	56,74	56,31	97,83	92,28
12/04/2018 7:30	84,75	48,77	56,74	56,17	97,69	92,14
12/04/2018 7:45	84,61	48,92	56,74	56,31	97,97	92,57
12/04/2018 8:00	84,61	48,92	56,88	56,45	98,11	92,85
12/04/2018 8:15	84,89	48,92	57,30	56,88	98,68	93,14
12/04/2018 8:30	84,61	49,06	56,59	56,17	97,26	91,86
12/04/2018 8:45	84,18	48,92	55,88	55,31	96,41	91,00

12/04/2018 9:00	84,32	48,77	56,02	55,60	96,55	91,00
12/04/2018 9:15	84,18	48,63	55,74	55,31	96,12	90,72
12/04/2018 9:30	84,18	49,20	55,88	55,31	96,12	90,72
12/04/2018 9:45	84,46	48,92	56,31	55,74	96,69	91,43
12/04/2018 10:00	84,46	48,92	56,45	56,02	97,55	92,43
12/04/2018 10:15	84,89	49,06	57,30	56,74	98,97	93,85
12/04/2018 10:30	84,89	49,06	57,45	57,02	99,54	94,27
12/04/2018 10:45	84,89	48,92	56,88	56,45	98,11	92,85
12/04/2018 11:00	84,46	49,20	56,74	56,17	97,97	92,71
12/04/2018 11:15	84,75	48,77	57,02	56,59	99,11	93,85
12/04/2018 11:30	85,32	48,92	58,44	57,87	101,38	96,27
12/04/2018 11:45	85,32	48,92	58,02	57,45	100,82	95,84
12/04/2018 12:00	85,60	49,20	59,15	58,73	103,09	97,83
12/04/2018 12:15	85,89	49,20	59,72	59,30	104,37	99,25
12/04/2018 12:30	86,17	49,63	60,43	59,86	105,79	100,67
12/04/2018 12:45	86,88	49,34	61,29	60,72	107,78	102,81
12/04/2018 13:00	87,17	49,48	61,71	61,29	108,64	103,52
12/04/2018 13:15	86,74	49,48	60,86	60,43	106,50	101,53
12/04/2018 13:30	86,31	49,20	59,72	59,30	104,23	99,11
12/04/2018 13:45	86,17	49,34	60,15	59,72	105,37	100,39
12/04/2018 14:00	86,88	49,48	61,29	60,86	107,64	102,66
12/04/2018 14:15	87,02	49,48	61,29	60,72	107,93	102,81
12/04/2018 14:30	87,17	49,63	61,85	61,43	109,21	104,09
12/04/2018 14:45	87,73	49,20	62,99	62,42	111,05	106,08
12/04/2018 15:00	87,88	49,91	62,71	62,28	110,91	105,65
12/04/2018 15:15	87,73	49,06	62,14	61,71	108,92	104,09
12/04/2018 15:30	87,45	49,20	62,42	62,00	110,06	105,08
12/04/2018 15:45	88,45	49,34	63,28	62,85	111,20	106,08
12/04/2018 16:00	87,59	49,48	62,14	61,71	109,77	104,66
12/04/2018 16:15	88,30	49,20	63,28	62,85	111,48	106,36
12/04/2018 16:30	88,16	49,48	62,99	62,57	110,91	105,79
12/04/2018 16:45	88,02	49,20	62,71	62,28	110,20	105,08
12/04/2018 17:00	87,59	49,20	61,57	61,14	107,93	102,81
12/04/2018 17:15	87,88	49,48	62,28	61,85	109,35	104,23
12/04/2018 17:30	87,88	49,34	62,00	61,57	108,21	103,09
12/04/2018 17:45	87,31	49,20	60,86	60,43	106,50	101,53
12/04/2018 18:00	87,59	49,48	61,43	61,00	107,93	102,81
12/04/2018 18:15	87,17	49,48	60,43	60,01	105,51	100,53
12/04/2018 18:30	87,17	49,34	60,72	60,29	105,93	100,96
12/04/2018 18:45	87,31	49,20	61,43	61,00	107,93	102,81
12/04/2018 19:00	87,59	49,48	61,29	60,86	106,93	102,10

12/04/2018 19:15	87,59	49,63	61,57	61,29	108,07	103,09
12/04/2018 19:30	88,02	49,91	62,71	62,28	110,20	105,08
12/04/2018 19:45	88,59	49,63	63,99	63,70	113,33	108,07
12/04/2018 20:00	89,16	49,63	64,70	64,41	114,18	108,78
12/04/2018 20:15	89,30	49,63	64,56	64,13	114,04	108,78
12/04/2018 20:30	89,30	49,63	65,27	64,98	115,60	110,34
12/04/2018 20:45	89,72	49,91	65,69	65,27	116,32	111,05
12/04/2018 21:00	89,16	49,63	64,84	64,56	114,61	109,21
12/04/2018 21:15	88,73	49,91	65,55	65,27	116,46	111,05
12/04/2018 21:30	88,87	49,63	65,69	65,41	116,60	111,20
12/04/2018 21:45	88,87	49,77	65,55	65,27	116,32	111,05
12/04/2018 22:00	88,73	49,34	66,55	66,26	118,73	113,33
12/04/2018 22:15	89,01	49,77	66,55	66,26	118,45	113,19
12/04/2018 22:30	89,01	50,05	66,97	66,69	119,30	114,04
12/04/2018 22:45	88,87	49,63	66,26	65,98	117,88	112,48
12/04/2018 23:00	89,16	49,48	66,97	66,55	119,16	113,76
12/04/2018 23:15	89,44	49,91	66,97	66,69	119,30	114,04
12/04/2018 23:30	89,44	49,63	66,83	66,41	118,73	113,47
12/04/2018 23:45	89,30	49,63	66,69	66,26	118,45	113,19
13/04/2018 0:00	89,44	49,63	66,83	66,55	118,73	113,33
13/04/2018 0:15	89,58	49,63	67,12	66,83	119,59	114,32
13/04/2018 0:30	89,58	49,91	66,69	66,41	118,31	113,04
13/04/2018 0:45	89,44	49,48	66,55	66,26	117,88	112,48
13/04/2018 1:00	89,30	49,48	66,26	65,98	117,31	112,05
13/04/2018 1:15	89,44	49,63	65,98	65,69	117,17	111,76
13/04/2018 1:30	89,58	49,63	65,84	65,55	116,88	111,20
13/04/2018 1:45	89,58	49,63	65,69	65,41	116,60	111,20
13/04/2018 2:00	89,30	49,48	65,41	65,13	115,89	110,49
13/04/2018 2:15	89,30	49,48	64,84	64,70	114,75	109,49
13/04/2018 2:30	89,30	49,77	64,70	64,41	114,32	109,21
13/04/2018 2:45	89,16	49,48	64,56	64,27	114,18	108,92
13/04/2018 3:00	89,44	49,63	64,56	64,27	114,04	108,78
13/04/2018 3:15	89,01	49,48	64,27	63,99	113,47	108,21
13/04/2018 3:30	88,45	49,63	63,56	63,28	111,91	106,79
13/04/2018 3:45	87,59	49,06	62,28	62,00	109,21	103,94
13/04/2018 4:00	87,31	49,20	62,00	61,71	108,92	103,66
13/04/2018 4:15	86,88	49,34	60,58	60,29	105,22	99,96
13/04/2018 4:30	86,60	49,48	59,58	59,30	103,23	98,11
13/04/2018 4:45	85,74	48,77	58,44	58,02	100,82	95,41
13/04/2018 5:00	85,17	49,20	57,45	57,16	99,11	93,71
13/04/2018 5:15	85,03	48,63	56,31	56,17	97,12	91,43

13/04/2018 5:30	84,46	48,63	54,89	54,60	93,28	87,88
13/04/2018 5:45	83,04	47,92	52,19	51,90	87,73	82,19
13/04/2018 6:00	82,33	48,35	51,19	50,91	85,74	80,34
13/04/2018 6:15	82,19	48,49	51,33	51,05	87,02	81,34
13/04/2018 6:30	82,47	48,35	51,76	51,62	87,45	82,19
13/04/2018 6:45	82,62	48,49	51,90	51,62	87,88	82,47
13/04/2018 7:00	82,62	48,35	52,19	52,04	88,45	82,76
13/04/2018 7:15	82,76	48,49	52,33	52,04	88,87	83,33
13/04/2018 7:30	82,90	48,49	52,61	52,33	89,44	84,46
13/04/2018 7:45	82,76	48,77	52,33	52,04	89,30	84,04
13/04/2018 8:00	82,33	48,63	52,04	51,62	88,59	83,18
13/04/2018 8:15	82,33	48,06	51,76	51,47	88,30	82,62
13/04/2018 8:30	43,23	25,31	25,45	25,74	69,96	64,98
13/04/2018 16:30	85,03	48,63	57,16	54,46	88,45	83,04
13/04/2018 16:45	85,60	48,63	58,30	55,31	89,87	84,32
13/04/2018 17:00	85,89	48,77	59,86	56,17	91,72	86,17
13/04/2018 17:15	86,74	49,20	61,00	56,59	94,42	89,01
13/04/2018 17:30	86,60	49,06	60,72	56,45	95,70	90,44
13/04/2018 17:45	86,74	48,63	60,86	56,45	97,83	92,43
13/04/2018 18:00	86,45	48,77	60,58	56,45	99,39	94,13
13/04/2018 18:15	86,45	48,92	60,43	56,45	100,96	95,70
13/04/2018 18:30	86,60	48,92	61,00	56,59	102,38	97,12
13/04/2018 18:45	86,45	48,77	60,72	56,59	103,23	97,69
13/04/2018 19:00	86,88	48,63	61,43	57,02	104,66	99,11
13/04/2018 19:15	87,31	48,63	61,85	57,30	105,22	99,96
13/04/2018 19:30	87,31	48,63	62,14	57,30	105,79	100,39
13/04/2018 19:45	87,45	48,77	62,14	57,30	105,79	100,53
13/04/2018 20:00	87,31	48,92	62,00	57,45	105,79	100,25
13/04/2018 20:15	87,59	49,20	62,28	57,45	105,79	100,39
13/04/2018 20:30	87,45	48,92	62,28	57,59	105,79	100,39
13/04/2018 20:45	87,45	49,20	62,28	57,59	105,65	100,39
13/04/2018 21:00	87,45	48,77	62,14	57,59	105,65	100,39
13/04/2018 21:15	87,59	48,63	62,28	57,59	105,65	100,39
13/04/2018 21:30	87,73	49,34	62,57	57,73	106,36	100,82
13/04/2018 21:45	88,16	48,92	63,28	58,02	107,21	101,81
13/04/2018 22:00	88,30	48,77	63,56	58,16	107,64	102,10
13/04/2018 22:15	88,73	48,77	64,27	58,30	108,78	103,38
13/04/2018 22:30	89,16	48,63	64,84	58,44	109,77	104,37
13/04/2018 22:45	89,72	48,49	66,26	58,73	111,76	106,50
13/04/2018 23:00	90,44	48,77	67,68	58,87	113,19	108,07
13/04/2018 23:15	90,44	48,92	68,25	58,87	113,90	108,78



13/04/2018 23:30	90,72	48,92	68,82	59,01	114,47	109,49
13/04/2018 23:45	90,72	48,77	69,11	59,15	114,89	109,77
14/04/2018 0:00	90,72	48,92	69,53	59,01	115,32	110,20
14/04/2018 0:15	90,58	49,06	69,68	59,15	115,46	110,20
14/04/2018 0:30	90,72	49,20	70,10	59,15	116,03	110,91
14/04/2018 0:45	90,86	49,06	69,96	59,15	115,75	110,77
14/04/2018 1:00	90,58	48,77	69,53	59,15	115,32	110,20
14/04/2018 1:15	90,72	49,20	69,82	59,15	115,46	110,34
14/04/2018 1:30	91,00	48,92	69,68	59,15	115,32	110,06
14/04/2018 1:45	91,00	48,92	69,82	59,15	115,46	110,34
14/04/2018 2:00	91,15	48,92	69,68	59,15	115,32	110,20
14/04/2018 2:15	91,15	48,77	69,53	59,15	115,18	110,06
14/04/2018 2:30	91,00	48,77	69,53	59,01	115,04	110,06
14/04/2018 2:45	91,00	48,63	69,11	59,01	114,61	109,49
14/04/2018 3:00	91,00	48,77	68,82	58,87	114,18	109,06
14/04/2018 3:15	90,86	48,77	68,82	59,01	114,32	109,21
14/04/2018 3:30	91,00	48,63	68,40	58,87	113,47	108,21
14/04/2018 3:45	90,72	48,77	67,97	58,73	113,04	107,78
14/04/2018 4:00	90,72	48,92	67,97	58,73	113,04	107,64
14/04/2018 4:15	89,72	49,20	66,26	58,58	110,63	105,51
14/04/2018 4:30	89,16	48,35	64,70	58,16	108,78	103,38
14/04/2018 4:45	88,30	48,92	63,28	57,73	107,07	101,53
14/04/2018 5:00	87,45	48,35	61,57	57,30	104,66	99,39
14/04/2018 5:15	86,74	48,35	60,01	56,45	102,10	96,41
14/04/2018 5:30	86,03	48,63	58,73	55,88	100,10	94,42
14/04/2018 5:45	85,03	48,35	57,02	54,60	97,26	91,29
14/04/2018 6:00	84,61	48,35	55,74	53,89	95,13	89,01
14/04/2018 6:15	84,04	48,06	54,89	53,18	93,56	87,73
14/04/2018 6:30	83,89	47,64	54,89	53,18	93,56	87,73
14/04/2018 6:45	83,47	48,20	54,03	52,33	91,86	86,03
14/04/2018 7:00	83,47	48,06	53,89	52,33	92,00	86,31
14/04/2018 7:15	83,47	48,06	54,18	52,75	92,57	86,88
14/04/2018 7:30	83,18	47,78	53,61	52,04	91,43	85,74
14/04/2018 7:45	83,04	47,64	53,47	52,04	91,29	85,74
14/04/2018 8:00	83,04	47,92	53,47	51,90	91,15	85,46
14/04/2018 8:15	82,90	47,92	53,04	51,47	90,72	84,89
14/04/2018 8:30	83,04	47,92	53,18	51,62	90,86	85,17
14/04/2018 8:45	82,90	47,78	52,61	51,19	90,01	84,46
14/04/2018 9:00	82,62	47,64	52,33	50,91	89,58	83,75
14/04/2018 9:15	82,62	48,06	52,47	51,05	90,15	84,75
14/04/2018 9:30	82,76	48,20	52,90	51,47	90,72	85,32

14/04/2018 9:45	82,90	47,78	52,61	51,19	90,15	84,75
14/04/2018 10:00	82,33	47,64	52,19	50,62	89,30	83,75
14/04/2018 10:15	82,90	47,35	52,61	51,19	90,15	84,61
14/04/2018 10:30	82,90	47,64	52,33	50,91	89,58	83,89
14/04/2018 10:45	82,90	47,64	53,04	51,47	90,58	85,17
14/04/2018 11:00	82,90	48,06	52,90	51,33	90,01	84,75
14/04/2018 11:15	83,33	47,92	53,61	52,04	91,43	86,03
14/04/2018 11:30	83,04	47,78	53,32	51,76	90,86	85,32
14/04/2018 11:45	82,90	48,06	53,47	51,76	90,58	85,03
14/04/2018 12:00	83,18	47,92	53,89	52,33	91,43	86,17
14/04/2018 12:15	83,47	47,78	54,60	52,90	92,71	87,45
14/04/2018 12:30	83,61	47,92	54,60	52,90	92,57	87,31
14/04/2018 12:45	83,18	47,78	54,03	52,47	91,86	86,45
14/04/2018 13:00	83,33	48,20	54,60	52,90	92,85	87,45
14/04/2018 13:15	83,61	47,78	55,17	53,47	94,27	88,87
14/04/2018 13:30	83,75	47,78	55,46	53,75	94,70	89,58
14/04/2018 13:45	84,18	47,92	56,02	54,03	95,41	90,44
14/04/2018 14:00	84,18	48,35	56,17	54,18	95,98	90,86
14/04/2018 14:15	84,32	47,92	56,45	54,32	96,69	91,72
14/04/2018 14:30	84,61	48,20	57,30	55,03	98,40	93,14
14/04/2018 14:45	84,61	48,06	57,45	55,03	97,97	92,85
14/04/2018 15:00	84,89	48,20	57,87	55,31	98,97	93,71
14/04/2018 15:15	85,32	48,49	58,16	55,60	99,25	94,13
14/04/2018 15:30	84,75	48,06	57,02	54,60	97,40	92,14
14/04/2018 15:45	84,46	47,92	57,45	54,89	98,26	93,00
14/04/2018 16:00	85,17	48,35	58,44	55,88	100,10	95,13
14/04/2018 16:15	85,32	48,06	58,44	55,74	99,82	94,42
14/04/2018 16:30	85,03	48,20	57,59	55,03	98,26	93,00
14/04/2018 16:45	84,75	48,35	57,16	54,75	97,69	92,43
14/04/2018 17:00	85,03	48,06	58,16	55,60	99,82	94,42
14/04/2018 17:15	84,89	48,06	57,73	55,17	97,83	92,43
14/04/2018 17:30	84,75	47,92	57,16	54,75	96,83	91,72
14/04/2018 17:45	84,75	48,06	57,16	54,89	97,40	92,14
14/04/2018 18:00	84,46	48,20	57,02	54,75	97,40	92,14
14/04/2018 18:15	84,89	48,35	58,02	55,60	99,25	93,85
14/04/2018 18:30	85,03	48,06	58,16	55,60	98,83	93,56
14/04/2018 18:45	85,74	48,49	59,86	56,74	101,67	96,83
14/04/2018 19:00	86,17	48,77	60,86	57,16	102,81	97,69
14/04/2018 19:15	86,17	48,49	61,14	57,30	103,66	98,68
14/04/2018 19:30	86,88	48,49	62,28	57,59	105,22	100,10
14/04/2018 19:45	87,88	48,63	63,70	58,02	107,36	102,24

14/04/2018 20:00	88,45	48,77	64,98	58,30	108,64	103,66
14/04/2018 20:15	88,59	48,92	64,70	58,16	108,49	103,52
14/04/2018 20:30	88,87	48,77	65,69	58,30	109,49	104,80
14/04/2018 20:45	89,58	48,92	66,97	58,58	111,05	106,36
14/04/2018 21:00	89,44	49,20	66,12	58,30	109,77	104,94
14/04/2018 21:15	89,58	48,49	66,97	58,44	111,20	106,36
14/04/2018 21:30	90,15	48,63	67,68	58,58	111,62	106,93
14/04/2018 21:45	90,29	48,49	67,83	58,58	111,91	107,07
14/04/2018 22:00	90,29	48,77	67,97	58,58	111,91	107,21
14/04/2018 22:15	90,86	48,77	68,82	58,58	112,90	108,07
14/04/2018 22:30	91,00	48,77	68,96	58,58	113,33	108,49
14/04/2018 22:45	91,43	48,92	69,25	58,73	113,61	108,92
14/04/2018 23:00	91,29	48,92	68,82	58,58	113,04	108,07
14/04/2018 23:15	91,15	48,92	68,82	58,58	112,90	108,07
14/04/2018 23:30	91,00	48,77	68,82	58,73	113,04	108,21
14/04/2018 23:45	91,00	49,20	69,25	58,73	113,47	108,64
15/04/2018 0:00	90,72	48,77	69,25	58,73	113,61	108,78
15/04/2018 0:15	90,58	48,92	69,53	58,73	113,90	109,21
15/04/2018 0:30	90,58	49,06	69,53	58,73	114,04	109,21
15/04/2018 0:45	90,58	48,92	69,82	58,73	114,18	109,35
<b>Promedio de presiones</b>	82,33	47,64	57,93	56,08	101,22	95,98

Fuente: Triple A S.A. E.S.P.

**Anexo 2** Caudales registrados en la línea de conducción El radar – Usiacurí

<b>Medidor electromagnético</b>		
Tanque el Radar		
Fecha y hora de registro	Caudal (L/s)	Caudal (m³/s)
08/04/2018 23:45	31,33	0,03133
09/04/2018 0:00	29,67	0,02967
09/04/2018 0:15	28,33	0,02833
09/04/2018 0:30	27,89	0,02789
09/04/2018 0:45	27,67	0,02767
09/04/2018 1:00	27,89	0,02789
09/04/2018 1:15	27,44	0,02744
09/04/2018 1:30	27,44	0,02744
09/04/2018 1:45	27,33	0,02733
09/04/2018 2:00	27	0,027
09/04/2018 2:15	26,67	0,02667
09/04/2018 2:30	26,78	0,02678
09/04/2018 2:45	26,89	0,02689
09/04/2018 3:00	27	0,027
09/04/2018 3:15	27,44	0,02744
09/04/2018 3:30	27,89	0,02789
09/04/2018 3:45	28,33	0,02833
09/04/2018 4:00	28,67	0,02867
09/04/2018 4:15	28,89	0,02889
09/04/2018 4:30	28,89	0,02889
09/04/2018 4:45	28,89	0,02889
09/04/2018 5:00	29,11	0,02911
09/04/2018 5:15	29,55	0,02955
09/04/2018 5:30	29,78	0,02978
09/04/2018 5:45	29,89	0,02989
09/04/2018 6:00	29,89	0,02989
09/04/2018 6:15	30,11	0,03011
09/04/2018 6:30	29,89	0,02989
09/04/2018 6:45	30	0,03
09/04/2018 7:00	29,55	0,02955
09/04/2018 7:15	29,66	0,02966
09/04/2018 7:30	30,11	0,03011
09/04/2018 7:45	29,78	0,02978
09/04/2018 8:00	30,11	0,03011
09/04/2018 8:15	30,11	0,03011

09/04/2018 8:30	30,33	0,03033
09/04/2018 8:45	30,11	0,03011
09/04/2018 9:00	30,33	0,03033
09/04/2018 9:15	30,55	0,03055
09/04/2018 9:30	30,44	0,03044
09/04/2018 9:45	30	0,03
09/04/2018 10:00	27,33	0,02733
09/04/2018 10:15	22,55	0,02255
09/04/2018 10:30	20,33	0,02033
09/04/2018 10:45	19,78	0,01978
09/04/2018 11:00	19,89	0,01989
09/04/2018 11:15	20,11	0,02011
09/04/2018 11:30	21	0,021
09/04/2018 11:45	21,89	0,02189
09/04/2018 12:00	22,67	0,02267
09/04/2018 12:15	25,11	0,02511
09/04/2018 12:30	26,55	0,02655
09/04/2018 12:45	26,89	0,02689
09/04/2018 13:00	27,22	0,02722
09/04/2018 13:15	28	0,028
09/04/2018 13:30	28,33	0,02833
09/04/2018 13:45	27,55	0,02755
09/04/2018 14:00	28	0,028
09/04/2018 14:15	28,11	0,02811
09/04/2018 14:30	27,78	0,02778
09/04/2018 14:45	28,11	0,02811
09/04/2018 15:00	29,11	0,02911
09/04/2018 15:15	29,22	0,02922
09/04/2018 15:30	29,44	0,02944
09/04/2018 15:45	29	0,029
09/04/2018 16:00	29,33	0,02933
09/04/2018 16:15	29,22	0,02922
09/04/2018 16:30	29,55	0,02955
09/04/2018 16:45	29,55	0,02955
09/04/2018 17:00	30	0,03
09/04/2018 17:15	29,67	0,02967
09/04/2018 17:30	29,22	0,02922
09/04/2018 17:45	29,44	0,02944
09/04/2018 18:00	29,11	0,02911
09/04/2018 18:15	28,67	0,02867
09/04/2018 18:30	30	0,03

09/04/2018 18:45	29,89	0,02989
09/04/2018 19:00	29,89	0,02989
09/04/2018 19:15	30	0,03
09/04/2018 19:30	30	0,03
09/04/2018 19:45	29,78	0,02978
09/04/2018 20:00	29,55	0,02955
09/04/2018 20:15	29,22	0,02922
09/04/2018 20:30	29,11	0,02911
09/04/2018 20:45	29,11	0,02911
09/04/2018 21:00	28,89	0,02889
09/04/2018 21:15	29	0,029
09/04/2018 21:30	29	0,029
09/04/2018 21:45	28,78	0,02878
09/04/2018 22:00	28,67	0,02867
09/04/2018 22:15	28,22	0,02822
09/04/2018 22:30	28,22	0,02822
09/04/2018 22:45	27,55	0,02755
09/04/2018 23:00	26,67	0,02667
09/04/2018 23:15	26	0,026
09/04/2018 23:30	25,44	0,02544
09/04/2018 23:45	25,44	0,02544
10/04/2018 0:00	25,22	0,02522
10/04/2018 0:15	25	0,025
10/04/2018 0:30	25,22	0,02522
10/04/2018 0:45	25,11	0,02511
10/04/2018 1:00	25,11	0,02511
10/04/2018 1:15	25	0,025
10/04/2018 1:30	25,44	0,02544
10/04/2018 1:45	25,11	0,02511
10/04/2018 2:00	25,33	0,02533
10/04/2018 2:15	25,22	0,02522
10/04/2018 2:30	25,55	0,02555
10/04/2018 2:45	25,67	0,02567
10/04/2018 3:00	25,55	0,02555
10/04/2018 3:15	25,89	0,02589
10/04/2018 3:30	26	0,026
10/04/2018 3:45	26,22	0,02622
10/04/2018 4:00	26,55	0,02655
10/04/2018 4:15	27,44	0,02744
10/04/2018 4:30	28	0,028
10/04/2018 4:45	28,56	0,02856

10/04/2018 5:00	28,78	0,02878
10/04/2018 5:15	29,33	0,02933
10/04/2018 5:30	30,22	0,03022
10/04/2018 5:45	30,89	0,03089
10/04/2018 6:00	31,78	0,03178
10/04/2018 6:15	32,44	0,03244
10/04/2018 6:30	32,33	0,03233
10/04/2018 6:45	31,89	0,03189
10/04/2018 7:00	32	0,032
10/04/2018 7:15	31,77	0,03177
10/04/2018 7:30	31,89	0,03189
10/04/2018 7:45	31,67	0,03167
10/04/2018 8:00	32,11	0,03211
10/04/2018 8:15	31,89	0,03189
10/04/2018 8:30	31,67	0,03167
10/04/2018 8:45	31,44	0,03144
10/04/2018 9:00	31,44	0,03144
10/04/2018 9:15	31,33	0,03133
10/04/2018 9:30	31,67	0,03167
10/04/2018 9:45	31,44	0,03144
10/04/2018 10:00	31,22	0,03122
10/04/2018 10:15	31,11	0,03111
10/04/2018 10:30	31,33	0,03133
10/04/2018 10:45	30,78	0,03078
10/04/2018 11:00	30,89	0,03089
10/04/2018 11:15	31	0,031
10/04/2018 11:30	30,44	0,03044
10/04/2018 11:45	30,22	0,03022
10/04/2018 12:00	30,55	0,03055
10/04/2018 12:15	29,89	0,02989
10/04/2018 12:30	27,11	0,02711
10/04/2018 12:45	26,56	0,02656
10/04/2018 13:00	26,67	0,02667
10/04/2018 13:15	26,22	0,02622
10/04/2018 13:30	26,44	0,02644
10/04/2018 13:45	26,78	0,02678
10/04/2018 14:00	26,55	0,02655
10/04/2018 14:15	26,33	0,02633
10/04/2018 14:30	26,22	0,02622
10/04/2018 14:45	26,22	0,02622
10/04/2018 15:00	26,33	0,02633

10/04/2018 15:15	25,89	0,02589
10/04/2018 15:30	25,89	0,02589
10/04/2018 15:45	25,55	0,02555
10/04/2018 16:00	27	0,027
10/04/2018 16:15	28,89	0,02889
10/04/2018 16:30	29,67	0,02967
10/04/2018 16:45	32	0,032
10/04/2018 17:00	31,89	0,03189
10/04/2018 17:15	31,67	0,03167
10/04/2018 17:30	31,89	0,03189
10/04/2018 17:45	31,89	0,03189
10/04/2018 18:00	31,89	0,03189
10/04/2018 18:15	31,55	0,03155
10/04/2018 18:30	31,44	0,03144
10/04/2018 18:45	31,22	0,03122
10/04/2018 19:00	30,89	0,03089
10/04/2018 19:15	30,89	0,03089
10/04/2018 19:30	30,67	0,03067
10/04/2018 19:45	30,22	0,03022
10/04/2018 20:00	30,33	0,03033
10/04/2018 20:15	30,11	0,03011
10/04/2018 20:30	30	0,03
10/04/2018 20:45	29,89	0,02989
10/04/2018 21:00	29,55	0,02955
10/04/2018 21:15	29,44	0,02944
10/04/2018 21:30	28,89	0,02889
10/04/2018 21:45	28,55	0,02855
10/04/2018 22:00	28,11	0,02811
10/04/2018 22:15	28,44	0,02844
10/04/2018 22:30	28	0,028
10/04/2018 22:45	27,44	0,02744
10/04/2018 23:00	27,67	0,02767
10/04/2018 23:15	27	0,027
10/04/2018 23:30	26,78	0,02678
10/04/2018 23:45	27,11	0,02711
11/04/2018 0:00	26,89	0,02689
11/04/2018 0:15	26,78	0,02678
11/04/2018 0:30	26,89	0,02689
11/04/2018 0:45	26,78	0,02678
11/04/2018 1:00	26,44	0,02644
11/04/2018 1:15	26,78	0,02678



11/04/2018 1:30	26,89	0,02689
11/04/2018 1:45	26,89	0,02689
11/04/2018 2:00	26,55	0,02655
11/04/2018 2:15	27	0,027
11/04/2018 2:30	26,89	0,02689
11/04/2018 2:45	26,89	0,02689
11/04/2018 3:00	27,11	0,02711
11/04/2018 3:15	27,22	0,02722
11/04/2018 3:30	27,33	0,02733
11/04/2018 3:45	27,56	0,02756
11/04/2018 4:00	27,56	0,02756
11/04/2018 4:15	28,33	0,02833
11/04/2018 4:30	29,11	0,02911
11/04/2018 4:45	29,22	0,02922
11/04/2018 5:00	29,78	0,02978
11/04/2018 5:15	30,11	0,03011
11/04/2018 5:30	30,78	0,03078
11/04/2018 5:45	31,33	0,03133
11/04/2018 6:00	32,44	0,03244
11/04/2018 6:15	32,11	0,03211
11/04/2018 6:30	32,11	0,03211
11/04/2018 6:45	32,11	0,03211
11/04/2018 7:00	32,22	0,03222
11/04/2018 7:15	32,24	0,03224
11/04/2018 7:30	32,22	0,03222
11/04/2018 7:45	32	0,032
11/04/2018 8:00	31,67	0,03167
11/04/2018 8:15	31,67	0,03167
11/04/2018 8:30	31,78	0,03178
11/04/2018 8:45	31,67	0,03167
11/04/2018 9:00	31,44	0,03144
11/04/2018 9:15	31,78	0,03178
11/04/2018 9:30	31,55	0,03155
11/04/2018 9:45	31,22	0,03122
11/04/2018 10:00	31,22	0,03122
11/04/2018 10:15	31,22	0,03122
11/04/2018 10:30	31,11	0,03111
11/04/2018 10:45	30,89	0,03089
11/04/2018 11:00	30,78	0,03078
11/04/2018 11:15	31	0,031
11/04/2018 11:30	30,67	0,03067

11/04/2018 11:45	30,22	0,03022
11/04/2018 12:00	30,22	0,03022
11/04/2018 12:15	30,44	0,03044
11/04/2018 12:30	30,78	0,03078
11/04/2018 12:45	30,55	0,03055
11/04/2018 13:00	30,33	0,03033
11/04/2018 13:15	30,33	0,03033
11/04/2018 13:30	30,11	0,03011
11/04/2018 13:45	29,67	0,02967
11/04/2018 14:00	29,67	0,02967
11/04/2018 14:15	29,44	0,02944
11/04/2018 14:30	29,44	0,02944
11/04/2018 14:45	29	0,029
11/04/2018 15:00	28,89	0,02889
11/04/2018 15:15	29,22	0,02922
11/04/2018 15:30	29,67	0,02967
11/04/2018 15:45	29,67	0,02967
11/04/2018 16:00	30,22	0,03022
11/04/2018 16:15	29,89	0,02989
11/04/2018 16:30	30,11	0,03011
11/04/2018 16:45	29,78	0,02978
11/04/2018 17:00	30,22	0,03022
11/04/2018 17:15	29,89	0,02989
11/04/2018 17:30	29,78	0,02978
11/04/2018 17:45	29,78	0,02978
11/04/2018 18:00	29,67	0,02967
11/04/2018 18:15	29,89	0,02989
11/04/2018 18:30	29,22	0,02922
11/04/2018 18:45	28,78	0,02878
11/04/2018 19:00	28,89	0,02889
11/04/2018 19:15	29	0,029
11/04/2018 19:30	28,44	0,02844
11/04/2018 19:45	28,44	0,02844
11/04/2018 20:00	28,33	0,02833
11/04/2018 20:15	28,22	0,02822
11/04/2018 20:30	27,67	0,02767
11/04/2018 20:45	27,67	0,02767
11/04/2018 21:00	27,44	0,02744
11/04/2018 22:45	12,11	0,01211
11/04/2018 23:00	23,67	0,02367
11/04/2018 23:15	30,33	0,03033

11/04/2018 23:30	29,44	0,02944
11/04/2018 23:45	28,33	0,02833
12/04/2018 0:00	27,22	0,02722
12/04/2018 0:15	25,78	0,02578
12/04/2018 0:30	25,78	0,02578
12/04/2018 0:45	25,22	0,02522
12/04/2018 1:00	25,55	0,02555
12/04/2018 1:15	25,33	0,02533
12/04/2018 1:30	25,33	0,02533
12/04/2018 1:45	25,44	0,02544
12/04/2018 2:00	25,55	0,02555
12/04/2018 2:15	25,33	0,02533
12/04/2018 2:30	25,44	0,02544
12/04/2018 2:45	25,11	0,02511
12/04/2018 3:00	25,33	0,02533
12/04/2018 3:15	25,89	0,02589
12/04/2018 3:30	26,44	0,02644
12/04/2018 3:45	26,89	0,02689
12/04/2018 4:00	27,22	0,02722
12/04/2018 4:15	27,55	0,02755
12/04/2018 4:30	28,22	0,02822
12/04/2018 4:45	28,33	0,02833
12/04/2018 5:00	28,89	0,02889
12/04/2018 5:15	29	0,029
12/04/2018 5:30	29,22	0,02922
12/04/2018 5:45	29,89	0,02989
12/04/2018 6:00	30,89	0,03089
12/04/2018 6:15	31,22	0,03122
12/04/2018 6:30	30,89	0,03089
12/04/2018 6:45	30,89	0,03089
12/04/2018 7:00	30,89	0,03089
12/04/2018 7:15	30,66	0,03066
12/04/2018 7:30	30,55	0,03055
12/04/2018 7:45	30,56	0,03056
12/04/2018 8:00	30,22	0,03022
12/04/2018 8:15	29,89	0,02989
12/04/2018 8:30	30,22	0,03022
12/04/2018 8:45	30,67	0,03067
12/04/2018 9:00	30,67	0,03067
12/04/2018 9:15	30,89	0,03089
12/04/2018 9:30	30,78	0,03078

12/04/2018 9:45	30,67	0,03067
12/04/2018 10:00	30,55	0,03055
12/04/2018 10:15	30,22	0,03022
12/04/2018 10:30	29,78	0,02978
12/04/2018 10:45	29,89	0,02989
12/04/2018 11:00	30,22	0,03022
12/04/2018 11:15	30,44	0,03044
12/04/2018 11:30	29,89	0,02989
12/04/2018 11:45	29,55	0,02955
12/04/2018 12:00	29,33	0,02933
12/04/2018 12:15	29	0,029
12/04/2018 12:30	28,55	0,02855
12/04/2018 12:45	28,78	0,02878
12/04/2018 13:00	28,22	0,02822
12/04/2018 13:15	28	0,028
12/04/2018 13:30	28,67	0,02867
12/04/2018 13:45	28,78	0,02878
12/04/2018 14:00	28	0,028
12/04/2018 14:15	27,78	0,02778
12/04/2018 14:30	28	0,028
12/04/2018 14:45	27,33	0,02733
12/04/2018 15:00	27	0,027
12/04/2018 15:15	27	0,027
12/04/2018 15:30	27,67	0,02767
12/04/2018 15:45	27	0,027
12/04/2018 16:00	27	0,027
12/04/2018 16:15	27,22	0,02722
12/04/2018 16:30	26,89	0,02689
12/04/2018 16:45	27,11	0,02711
12/04/2018 17:00	27,22	0,02722
12/04/2018 17:15	27,67	0,02767
12/04/2018 17:30	27,22	0,02722
12/04/2018 17:45	27,44	0,02744
12/04/2018 18:00	27,78	0,02778
12/04/2018 18:15	27,44	0,02744
12/04/2018 18:30	28,33	0,02833
12/04/2018 18:45	28	0,028
12/04/2018 19:00	27,55	0,02755
12/04/2018 19:15	27,78	0,02778
12/04/2018 19:30	27,44	0,02744
12/04/2018 19:45	27,11	0,02711

12/04/2018 20:00	26,22	0,02622
12/04/2018 20:15	26,11	0,02611
12/04/2018 20:30	26,11	0,02611
12/04/2018 20:45	25,67	0,02567
12/04/2018 21:00	25,44	0,02544
12/04/2018 21:15	26,11	0,02611
12/04/2018 21:30	25,44	0,02544
12/04/2018 21:45	25,33	0,02533
12/04/2018 22:00	25,67	0,02567
12/04/2018 22:15	24,89	0,02489
12/04/2018 22:30	24,89	0,02489
12/04/2018 22:45	24,89	0,02489
12/04/2018 23:00	25,22	0,02522
12/04/2018 23:15	24,89	0,02489
12/04/2018 23:30	25	0,025
12/04/2018 23:45	24,78	0,02478
13/04/2018 0:00	25,11	0,02511
13/04/2018 0:15	25	0,025
13/04/2018 0:30	24,78	0,02478
13/04/2018 0:45	25,22	0,02522
13/04/2018 1:00	25,22	0,02522
13/04/2018 1:15	25,44	0,02544
13/04/2018 1:30	25,67	0,02567
13/04/2018 1:45	25,44	0,02544
13/04/2018 2:00	25,67	0,02567
13/04/2018 2:15	25,67	0,02567
13/04/2018 2:30	26	0,026
13/04/2018 2:45	26	0,026
13/04/2018 3:00	26,11	0,02611
13/04/2018 3:15	26,11	0,02611
13/04/2018 3:30	26,22	0,02622
13/04/2018 3:45	26,78	0,02678
13/04/2018 4:00	27,44	0,02744
13/04/2018 4:15	27,44	0,02744
13/04/2018 4:30	28,22	0,02822
13/04/2018 4:45	28,89	0,02889
13/04/2018 5:00	29,56	0,02956
13/04/2018 5:15	29,55	0,02955
13/04/2018 5:30	30,22	0,03022
13/04/2018 5:45	30,89	0,03089
13/04/2018 6:00	32,11	0,03211

13/04/2018 6:15	32,44	0,03244
13/04/2018 6:30	32,11	0,03211
13/04/2018 6:45	32,22	0,03222
13/04/2018 7:00	32	0,032
13/04/2018 7:15	32,21	0,03221
13/04/2018 7:30	32	0,032
13/04/2018 7:45	31,55	0,03155
13/04/2018 8:00	31,89	0,03189
13/04/2018 16:00	37,67	0,03767
13/04/2018 16:15	36,33	0,03633
13/04/2018 16:30	31,56	0,03156
13/04/2018 16:45	29,33	0,02933
13/04/2018 17:00	29,22	0,02922
13/04/2018 17:15	28,33	0,02833
13/04/2018 17:30	28,44	0,02844
13/04/2018 17:45	28,44	0,02844
13/04/2018 18:00	28,44	0,02844
13/04/2018 18:15	28,67	0,02867
13/04/2018 18:30	28,44	0,02844
13/04/2018 18:45	28,44	0,02844
13/04/2018 19:00	28,11	0,02811
13/04/2018 19:15	27,89	0,02789
13/04/2018 19:30	27,67	0,02767
13/04/2018 19:45	27,89	0,02789
13/04/2018 20:00	27,67	0,02767
13/04/2018 20:15	27,89	0,02789
13/04/2018 20:30	27,78	0,02778
13/04/2018 20:45	27,78	0,02778
13/04/2018 21:00	27,67	0,02767
13/04/2018 21:15	27,67	0,02767
13/04/2018 21:30	27,78	0,02778
13/04/2018 21:45	27,22	0,02722
13/04/2018 22:00	27,22	0,02722
13/04/2018 22:15	27,11	0,02711
13/04/2018 22:30	26,33	0,02633
13/04/2018 22:45	26	0,026
13/04/2018 23:00	25,22	0,02522
13/04/2018 23:15	24,44	0,02444
13/04/2018 23:30	24,22	0,02422
13/04/2018 23:45	23,89	0,02389
14/04/2018 0:00	23,67	0,02367

14/04/2018 0:15	23,56	0,02356
14/04/2018 0:30	23,44	0,02344
14/04/2018 0:45	23,11	0,02311
14/04/2018 1:00	23,44	0,02344
14/04/2018 1:15	23,44	0,02344
14/04/2018 1:30	23,33	0,02333
14/04/2018 1:45	23,44	0,02344
14/04/2018 2:00	23,33	0,02333
14/04/2018 2:15	23,44	0,02344
14/04/2018 2:30	23,55	0,02355
14/04/2018 2:45	23,56	0,02356
14/04/2018 3:00	23,78	0,02378
14/04/2018 3:15	23,89	0,02389
14/04/2018 3:30	24	0,024
14/04/2018 3:45	24,56	0,02456
14/04/2018 4:00	24,44	0,02444
14/04/2018 4:15	24,55	0,02455
14/04/2018 4:30	25,78	0,02578
14/04/2018 4:45	26,44	0,02644
14/04/2018 5:00	27,33	0,02733
14/04/2018 5:15	28,11	0,02811
14/04/2018 5:30	28,89	0,02889
14/04/2018 5:45	29,44	0,02944
14/04/2018 6:00	30	0,03
14/04/2018 6:15	31	0,031
14/04/2018 6:30	31,33	0,03133
14/04/2018 6:45	31,22	0,03122
14/04/2018 7:00	31,67	0,03167
14/04/2018 7:15	31,66	0,03166
14/04/2018 7:30	31,33	0,03133
14/04/2018 7:45	31,67	0,03167
14/04/2018 8:00	31,67	0,03167
14/04/2018 8:15	31,78	0,03178
14/04/2018 8:30	31,78	0,03178
14/04/2018 8:45	32	0,032
14/04/2018 9:00	31,89	0,03189
14/04/2018 9:15	32,11	0,03211
14/04/2018 9:30	32	0,032
14/04/2018 9:45	31,78	0,03178
14/04/2018 10:00	32,55	0,03255
14/04/2018 10:15	32,22	0,03222

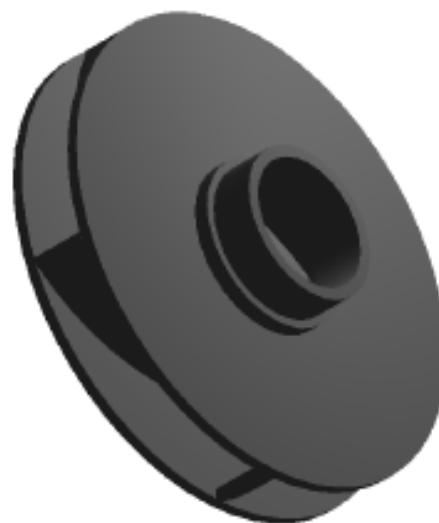
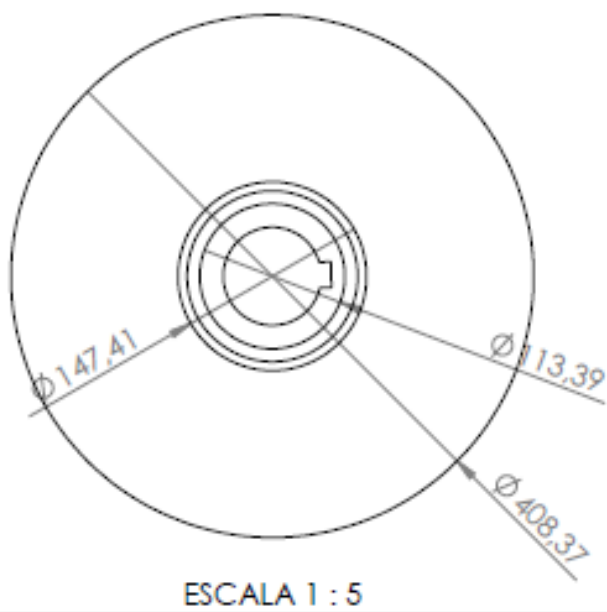
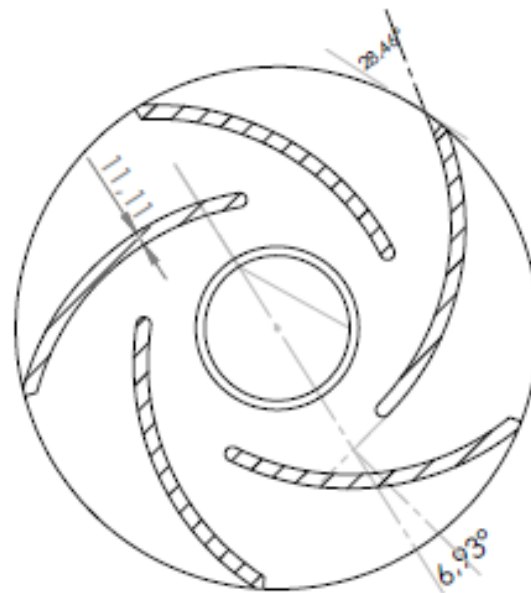
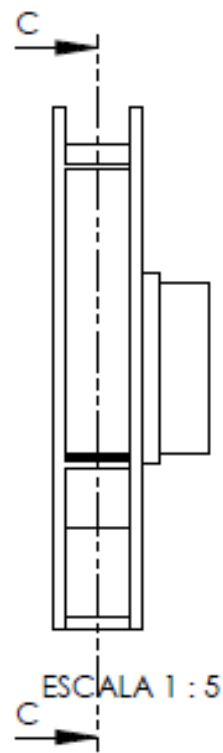
14/04/2018 10:30	31,89	0,03189
14/04/2018 10:45	32	0,032
14/04/2018 11:00	32	0,032
14/04/2018 11:15	31,89	0,03189
14/04/2018 11:30	31,67	0,03167
14/04/2018 11:45	31,78	0,03178
14/04/2018 12:00	31,89	0,03189
14/04/2018 12:15	31,44	0,03144
14/04/2018 12:30	31,11	0,03111
14/04/2018 12:45	31,22	0,03122
14/04/2018 13:00	31,33	0,03133
14/04/2018 13:15	30,89	0,03089
14/04/2018 13:30	30,78	0,03078
14/04/2018 13:45	30,55	0,03055
14/04/2018 14:00	30,44	0,03044
14/04/2018 14:15	30,55	0,03055
14/04/2018 14:30	30,33	0,03033
14/04/2018 14:45	29,67	0,02967
14/04/2018 15:00	29,89	0,02989
14/04/2018 15:15	29,67	0,02967
14/04/2018 15:30	29,67	0,02967
14/04/2018 15:45	29,89	0,02989
14/04/2018 16:00	29,67	0,02967
14/04/2018 16:15	29,44	0,02944
14/04/2018 16:30	29,56	0,02956
14/04/2018 16:45	29,89	0,02989
14/04/2018 17:00	30,22	0,03022
14/04/2018 17:15	29,78	0,02978
14/04/2018 17:30	30	0,03
14/04/2018 17:45	30,11	0,03011
14/04/2018 18:00	30,11	0,03011
14/04/2018 18:15	30	0,03
14/04/2018 18:30	29,67	0,02967
14/04/2018 18:45	29,44	0,02944
14/04/2018 19:00	28,56	0,02856
14/04/2018 19:15	28,33	0,02833
14/04/2018 19:30	27,78	0,02778
14/04/2018 19:45	27,33	0,02733
14/04/2018 20:00	26,67	0,02667
14/04/2018 20:15	26,11	0,02611
14/04/2018 20:30	26,11	0,02611



14/04/2018 20:45	25,67	0,02567
14/04/2018 21:00	24,89	0,02489
14/04/2018 21:15	25,55	0,02555
14/04/2018 21:30	25	0,025
14/04/2018 21:45	24,78	0,02478
14/04/2018 22:00	24,78	0,02478
14/04/2018 22:15	24,56	0,02456
14/04/2018 22:30	24,11	0,02411
14/04/2018 22:45	23,89	0,02389
14/04/2018 23:00	24	0,024
14/04/2018 23:15	24,11	0,02411
14/04/2018 23:30	23,89	0,02389
14/04/2018 23:45	24,11	0,02411
15/04/2018 0:00	23,67	0,02367
15/04/2018 0:15	23,78	0,02378
<b>Promedio de Caudal</b>	28	0,028

**Fuente: Triple A S.A. E.S.P.**

**Anexo 3** Diseño del impulsor



**Fuente:** (Anzola & Colón, 2018)

**Anexo 4** Referencia Bomba centrífuga IHM cotizada.



NIT 860001300-1

BOGOTÁ D.C 19 DE JUNIO DE 2018

SEÑORES: TRIPLE A. S.A E.S.P

DIRECCIÓN: CARRERA 8 VÍA 5 ACUEDUCTO, BARRANQUILLA - ATLANTICO

ATENCIÓN:

SR. KEBIN COLÓN

TELEFONOS: 3614141 / 314 5951371

[kebin.colon@aaa.com.co](mailto:kebin.colon@aaa.com.co)

COTIZACIÓN N°02-19-06-2018

NIT. 800.135.913-1

Apreciados señores de acuerdo a su amable solicitud y dadas sus especificaciones estoy enviando cotización del Equipo requerido por ustedes:

Datos:

Caudal: 28 L/s = 444 GPM

Cabeza: 30 mts

## **BOMBA IHM 8X31 PE**

Referencia: 62004000A2



**Fuente:** (Ignacio Gómez IHM S.A.S, 2018).

### Anexo 5 Información técnica y características Bomba centrífuga IHM

#### INFORMACIÓN TÉCNICA

Conexión succión	4" ANSI #125
Conexión descarga	3" ANSI #125
Altura (ADT) Max	55 m
Caudal Max	680 GPM
Caudal medio	600 GPM
Altura media	46 m
Motor	Eje libre
Potencia	35 HP
Velocidad	1750 RPM
Peso	143 Kg
Dimensiones	0.7/0.5/0.7 Mts

#### CARACTERÍSTICAS

Construida en hierro, con descarga coaxial, para trabajo pesado.

Carcasa con anillo de fricción, bridada y ubicable en varias posiciones.

Rotor cerrado balanceado mecánica e hidráulicamente.

Obturación por prensa estopa con eje protegido por casquillo.

Soporte rodamiento robusto y extra fuerte

Bomba tipo industrial, de alta o baja velocidad

Opcional acopladas con motores eléctricos o diesel, autotransportables o fijas.

**Fuente:** (Ignacio Gómez IHM S.A.S, 2018).

### Anexo 6 Cotización Bomba centrífuga IHM, aplicaciones y especificaciones.

#### APLICACIONES

Trasiego, drenajes y servicios generales en la industria  
 Equipos de presurización de redes  
 Sistemas de enfriamiento, recirculación y aire acondicionado  
 Transferencia de líquidos e hidrocarburos  
 Riego por aspersión, goteo y gravedad.  
 Elevación de agua tanque bajo – tanque alto en acueductos  
 Control de incendios  
 Limpieza y lavado a presión  
 Fuentes de aguas

#### ESPECIFICACIONES

Bomba construida en hierro gris cl.30 con anillo de fricción en bronce.  
 Conexión de succión de 4" ansi #125 y descarga de 3" ansi #125  
 Rotor cerrado en hierro, con paso de sólidos de 14 mm  
 Obturación por estopas, opcional sello de carbón – cerámica de 1.1/2 tipo resorte largo.  
 Con casquillo en acero inoxidable aisi 304.  
 Velocidad de operación 1750 rpm.  
 Bomba de eje libre acoplable a motores hasta de 40 hp.

EQUIPO	CANT	VALOR	DSCTO	SUBTOTAL
BOMBA IHM 8X31 PE COD. 62004000A2	1	\$3,481,000	\$522,150	\$2,958,850

SUBTOTAL	\$2,958,850
SEGURO Y FLETE DE ENVIO	\$85,000
IVA 19 %	\$578,332
<b>TOTAL</b>	<b>\$3,622,182</b>

Incluye Fletes y seguro de envío a CARRERA 8 VÍA 5 ACUEDUCTO, BARRANQUILLA - ATLANTICO.

Validez de la oferta 30 días hábiles, tiempo de entrega 1 a 2 hábiles después de la consignación y autorizado por nuestro departamento financiero.

*\*Este producto se encuentra disponible para entrega inmediata. SUJETO A PREVIA VENTA.*

No incluye instalación.

Se puede realizar el pago del equipo a través de nuestra pagina Web (<http://www.igihm.com>) con tarjeta de crédito o debido o haciendo transferencia o consignación a la siguiente cuenta Corriente de Ignacio Gómez IHM SAS:

Cuenta corriente **04400130008 de Bancolombia**

Si tiene alguna duda sobre la forma de pago no dude en comunicarse con nosotros. No olvidar que **somos Grandes Contribuyentes y Autoretenedores.**

Condiciones comerciales: Pago contado

Cualquier duda o aclaración con gusto le podemos atender.

Por favor enviar comprobante de consignación por este mismo medio y Rut.

Gracias,

Cordialmente,



**Daniela Yara G.**

Ingeniera de Soporte Técnico

Tienda Virtual

Ignacio Gómez IHM SAS

Teléfono Directo Línea Nacional Gratuita [01 8000 947818](tel:018000947818)

Conmutador  [\(571\) 3526911](tel:(571)3526911) Ext. 406

[www.igihm.com](http://www.igihm.com)

**Fuente:** (Ignacio Gómez IHM S.A.S, 2018)

Anexo 7 Despiece bomba centrífuga línea Eurolinea.

A2

LINEA CENTRIFUGA EUROLINEA

Modelos:  
**8x31 PE**  
**8x31 SM**

LISTA DE REPUESTOS			CANTIDAD	
ITEM No.	DESCRIPCION	CODIGO	8x31 PE	8x31 SM
1	CUÑA 1/4"x58 mm.	8601600041	2	2
2	FIELTRO SOP. ROD. No. 3	8602700043	1	1
3	SOPORTE ROD. No. 3	8600300021	1	1
4	EJE 12x25	8600600041	1	1
5	ESPARRAGO NC. 5/8"x54 mm	8719200044	12	12
6	RODAMIENTO 6307	7609000052	1	1
7	RODAMIENTO 7308B	8601300052	1	1
8	ANILLO RETEN. ROD. I-90	8602500052	1	1
9	TAPA ANTERIOR SOP. ROD. No. 5	8600700021	1	1
10	FIELTRO TAPA ANT. SOP. No. 3	8602500043	1	1
11	DEFLECTOR 38 mm. DIA INT.	7110200051	1	1
12	AROSSELLO REF. 2-029	1300300051	1	-
13	ESPARRAGO NC. 1/2"x53 mm.	8601000044	14	14
14	CASQUILLO P.E. No. 3	8601100041	1	-
15	GRAPA PRENSA ESTOPA	7817300044	2	-
16	PRENSA ESTOPA No. 3	8600400021	2	-
17	CORDON PLOMBAGINADO 3/8"x3/8"	7581800033	0.105 Kg	-
18	ANILLO LINTERNA No. 3	7903700022	1	-
19	PRENSA SELLO 12x25	8602900021	-	1
20	EMPAQUE PRENSA SELLO	8602300043	-	1
21	SELLO MECANICO 1.1/2" TIPO 21	7712000051	-	1
22	CASQUILLO S.M. No. 3	8602200041	-	1
23	PLATO ESTOPA 8x31	8718100021	1	1
24	ROTOR 8x31	8717500021	1	1
25	ARANDELA ROTOR 25/32DI x42	86028A0041	1	1
26	TUERCA DE SEGURIDAD 3/4" NF	9705500056	1	1
27	EMPAQUE CARCASA 8x31	8719300043	1	1
28	CARCASA ANILLO 8x31	8717300021	1	1
29	ANILLO DE FRICCION 8x31	8717400022	1	1

- Tornillería estandar se ilustra unicamente.

975720PL R2 (08/97)

Fuente: (Ignacio Gómez IHM S.A.S, 2018)



**Anexo 8** Cotización Turbina generación de energía hidráulica.



**FHsolar&led**  
Soluciones energéticas renovables  
**Ibérica**

**Cliente :** ANGIE NATALIA ANZOLA GOMEZ  
**Contacto :** Ing . Natalia Anzola  
**RUT:** 1110561828-8  
**Dirección :** Carrera 40D # 91-123  
**Ciudad :** Barranquilla (Atlántico)  
**Tel :** +57 3022877779  
**E-mail :** recidentegacdis@gmail.com  
**País :** Colombia



**Somos buena energía**

**NIT-900982683-8**

By.

**FH SOLAR & LED IBERICA S.A.S**  
**Carrera 27 N° 30-16**  
**Tulua (Valle)**  
**Colombia**



**OFERTA DE SUMINISTRO**

Fecha Oferta: 20/06/2018  
Cod. Oferta: A/20062018-00210COL

**ISO C E RoHS**

REF	CONCEPTO	PREC/UNI	UNID	TOTAL
	<b>FHXJ30-20SCTF/4-/6-Z</b> Turbina de Generación de Energía Hidráulica ,20KW 60Hz / 220V / Dos Boquilla Tres Faces / Incluye Regulador de Voltage	\$ 51.523,00USD	1	\$ 51.523,00USD
<p><b>Precios en Dolares Americanos , Se Factura en Pesos + IVA , al momento de confirmar su compra .Tipo de Cambio Oficial Interbancario del Día .</b></p>		<b>TOTALES</b>	1	<b>\$ 51.523,00USD</b>

f,v>>

Ing . Angie Natalia Anzola



**Amigos de la Tierra**

**CONDICIONES GERALES\***

>**Forma De Pago:** Transferencia Bancaria TT 70% a la firma de esta oferta / 30% Al momento de confirmar que su pedido esta listo para ser enviado .

>**Tiempo De Entrega:** **60 Días**

>**No Incluye :** Instalación

>**Transportes Internos:** Incluido Barranquilla Capital

>**Garantía :** 3 Años Por Defecto de Fabrica

>**Azesoria Técnica:** Permanente ,Vía Telefónica

>**Valides de esta Oferta en todos sus términos :** 10 Días

FORMA DE PAGO:

**Transferencias Bancarias**

**BBVA**

**Beneficiario**

**FH SOLAR & LED IBERICA S.A.S**  
**Cuenta N° 353 228000 Ahorros**

FH SOLAR & LED IBERICA S.A.S  
Office Tulua Valle Colombia SouthAmérica  
Address Carrera 27 N° 30-16  
Phone +57(2)2253517 Mobile: +57 3128188280  
Colombia

**www.fhsolarled.com**

Spain  
Mexico  
Ecuador  
Colombia

Fuente: (FH SOLAR &amp; LED IBERICA S.A.S. , 2018)